

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2009

Bc. Josef Andiel

**VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra měřicí a řídicí techniky**

**Analyzátor harmonických napětí a proudů pro
frekvence 50Hz – 9kHz na bázi virtuální
instrumentace dle ČSN 61000-4-7 ed.2**

**Harmonic analyzer according to IEC 61000-4-7
for frequencies from 50Hz up to 9kHz**

2009

Bc. Josef Andiel

Poděkování a prohlášení:

Chtěl bych poděkovat celé mojí rodině a přátelům za psychickou podporu, pochopení a lásku.

Také bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce, Ing. Petru Bilíkovi, Ph.D., za odborné vedení a pomoc při zpracování mé diplomové práce.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 6.5.2009

Podpis:.....
Josef Andiel

Abstrakt

Vytvořená diplomová práce shrnuje problematiku měření harmonických napětí a proudu v napájecí síti. Zaměřuje se na analyzátory harmonických složek. Analyzátory harmonických složek se používají pro monitorování stavu a diagnostiku závad v napájení.

V práci je popsáno grafické vývojové prostředí LabVIEW, hardwarová platforma CompactDAQ a použité moduly, Fourierova transformace a návrh měřicí aplikace a aplikace pro zpracování naměřených dat.

Hlavním cílem této práce bylo navrhnout a vytvořit virtuální analyzátor harmonických napětí a proudů s využitím grafického vývojového prostředí LabVIEW. Virtuální analyzátor zpracovává signál naměřený na hardwarové platformě NI CompactDAQ.

Práce se dále zabývá návrhem a implementací aplikace pro zpracování dat naměřených tímto virtuálním analyzátozem.

Klíčová slova

NI LabVIEW, CompactDAQ, Fourierova transformace, spektrum, agregace, analyzátor, TDM formát

Abstract

The created dissertation sums up the questions of measuring of harmonic voltage and current in the supply net. It focuses on analyzers of harmonic components. Analyzers of harmonic components are used for monitoring of a state and diagnostics of defects in power supply.

The graphical developmental medium LabVIEW, hardware platform CompactDAQ and used modules, Fourier's transformation and the suggestion of measuring application, and an application for working of measured data are described in this work.

The main purpose of this work is to suggest and create virtual analyzer of harmonic voltage and current with the utilization of graphical developmental medium LabView. The Virtual analyzer compiles the signal measured by the hardware platform NI CompactDAQ.

The work further deals with the suggestion and implementation of an application for working of data measured by this virtual analyzer.

Key words

NI LabView, CompactDAQ, Fourier transform, spectrum, aggregation, analyzer, TDM format

Seznam použitých symbolů a zkratek

f	frekvence	[Hz]
I	elektrický proud	[A]
P	výkon	[W]
Q	náboj	[C]
R	odpor rezistoru	[Ω]
s	dráha	[m]
T	perioda	[-]
t	čas	[s]
U	elektrické napětí	[V]
φ	úhel	[°]
ω	úhlová rychlost	[rad.s ⁻¹]

Obsah

1.	Úvod	1
2.	Seznámení se s problematikou návrhu a implementace aplikace v grafickém programovacím prostředí LabVIEW	2
2.1	<i>Přechod od klasické instrumentace k instrumentaci virtuální</i>	2
2.2	<i>Programovací prostředí LabVIEW</i>	4
2.2.1	<i>Virtuální přístroj</i>	4
2.2.2	<i>Výhody programovacího jazyka LabVIEW</i>	6
2.3	<i>Popis hardwarové platformy CompactDAQ firmy National Instrument</i>	6
2.3.1	<i>Charakteristické rysy</i>	7
2.4	<i>CompactDAQ NI cDAQ – 9172</i>	7
2.5	<i>Moduly připojitelné do platformy CompactDAQ</i>	8
2.5.1	<i>Analogový vstupní modul NI 9225</i>	9
2.5.2	<i>Analogový vstupní modul NI 9239</i>	9
2.6	<i>Proudové kleště MN71 od firmy Chauvin Arnoux</i>	10
3.	Seznámení se s požadavky na analyzátor harmonických dle ČSN 61000-4-7 ed.2	11
3.1	<i>Základní pojmy</i>	11
3.1.1	<i>Elektrický proud</i>	11
3.1.2	<i>Elektrické napětí</i>	11
3.2	<i>Kvalita elektrické energie</i>	12
3.3	<i>Požadavky na analyzátor harmonických dle normy ČSN EN 61000-4-7 ed. 2 z roku 2003</i>	13
3.4	<i>Frekvenční analýza</i>	14
3.4.1	<i>Fourierova řada</i>	15
3.4.2	<i>Fourierova transformace</i>	16
3.5	<i>Prosakování energie ve spektru</i>	18
3.5.1	<i>Snížení prosakování energie ve spektru pomocí aplikace vhodného okénka</i>	19
3.5.2	<i>Snížení prosakování energie pomocí úpravy vzorkování</i>	20
4.	Návrh a implementace měřicí aplikace	22
4.1	<i>Blokové schéma měřicí aplikace</i>	22
4.2	<i>Popis funkce měřicí aplikace</i>	23
4.2.1	<i>Seskupování spektrálních čar</i>	23
4.2.2	<i>Vyhlazení signálu</i>	25
4.2.3	<i>Časová agregace</i>	26
4.3	<i>Přední panel měřicí aplikace</i>	27
4.4	<i>Popis kódu měřicí aplikace</i>	30
4.4.1	<i>Nastavení kanálů na měřicích kartách</i>	31
4.4.2	<i>Načtení dat, jejich zpracování a zobrazení v grafech</i>	31
4.4.3	<i>Zpracování signálu</i>	34
4.4.3.1	<i>Zjištění průchodů nulou</i>	35
4.4.3.2	<i>Oříznutí signálu na 10 period</i>	35
4.4.3.3	<i>Seskupení spektra</i>	37
4.4.3.4	<i>Vyhlazení signálu</i>	38
4.4.4	<i>Spuštění agregace</i>	38
4.4.5	<i>Uložení zpracovaných dat do souboru</i>	42
4.4.5.1	<i>Formát TDM</i>	43
4.4.5.2	<i>Vytvoření jména souboru</i>	44
4.4.5.3	<i>Vytvoření souboru a pomocného souboru obsahujícího cestu</i>	45
4.4.5.4	<i>Uložení dat do souboru</i>	45

4.4.6	Změna parametrů.....	46
5.	Návrh a implementace aplikace pro zpracování naměřených dat	47
5.1	<i>Popis funkce aplikace pro zpracování naměřených dat.....</i>	<i>47</i>
5.2	<i>Přední panel aplikace zpracovávající naměřená data.....</i>	<i>48</i>
5.3	<i>Popis kódu aplikace zpracovávající naměřená data</i>	<i>50</i>
5.3.1	<i>Událost reagující na stisk tlačítka „Načti adresář“</i>	<i>51</i>
5.3.1.1	<i>Vytvoření seznamu souboru a cesty k souboru.....</i>	<i>52</i>
5.3.1.2	<i>Načtení dat ze souboru</i>	<i>52</i>
5.3.1.3	<i>Nastavení nabídky pro výběr kanálů.....</i>	<i>53</i>
5.3.1.4	<i>Zjištění informací o měření.....</i>	<i>53</i>
5.3.1.5	<i>Zpracování dat.....</i>	<i>54</i>
5.3.2	<i>Událost reagující na stisk tlačítka „Načti poslední použitý adresář měřicí aplikace“ .</i>	<i>55</i>
5.3.3	<i>Událost reagující na změnu položky v seznamu „Uložené soubory“</i>	<i>56</i>
5.3.4	<i>Události reagující na změnu pozice kurzoru v grafu „Průběh harmonické v čase“</i>	<i>57</i>
5.3.5	<i>Události reagující na změnu položky v nabídce „Zvolený signál“ a změnu hodnoty harmonické.....</i>	<i>58</i>
5.3.6	<i>Událost reagující na stisk tlačítka „Vytvořit zprávu“</i>	<i>58</i>
5.3.7	<i>Události reagující na stisk tlačítka „Nápověda“, „O aplikaci“, „Ukončit aplikaci“ ...</i>	<i>60</i>
6.	Ověření funkčnosti virtuálního analyzátoru harmonických.....	61
7.	Závěr	64
	Použitá literatura	65
	Seznam příloh.....	66

1. Úvod

Tato diplomová práce se zabývá problematikou měření harmonických napětí a proudu v napájecí síti. Analyzátory harmonických složek v napájecí síti se používají pro monitorování stavu a diagnostiku závad v napájení, které mohou nastat působením vnějších vlivů.

Běžné analyzátory kvality napětí vyhodnocují harmonické do 1250Hz (25. harmonická), a to většinou pouze pro napěťové signály, tato práce se zabývá oblastí vyhodnocující harmonické až do 9kHz a to jak pro napětí tak pro proud.

Práce si dává za cíl vytvořit virtuální analyzátor napětí a proudů s využitím grafického vývojového prostředí LabVIEW a dále vytvořit aplikaci pro zpracování dat naměřených virtuálním analyzátozem.

První kapitola seznamuje s virtuální instrumentací a jejími hlavními principy. Dále popisuje programovací prostředí LabVIEW a jeho výhody. Je zde uveden popis hardwarové platformy CompactDAQ od společnosti National Instrument, pomocí které bude měřen signál v napájecí síti. Následuje podrobný popis použitého šasi a měřicích modulů.

Druhá kapitola shrnuje požadavky na analyzátor harmonických dle ČSN EN 61000-4-7 ed.2. Je zde popsána Fourierova transformace, která se používá k získání amplitudového spektra signálu. Dále jsou v této kapitole uvedeny možné problémy se špatným vzorkováním signálu.

Ve třetí kapitole je uveden popis návrhu virtuálního analyzátoru, popis jeho funkce a popis vlastní aplikace.

Ve čtvrté kapitole je uveden popis aplikace zpracovávající naměřená data a popis její funkce.

V páté kapitole je proveden popis ověření funkčnosti virtuálního analyzátoru harmonických a v poslední kapitole je uveden závěr.

2. Seznámení se s problematikou návrhu a implementace aplikace v grafickém programovacím prostředí LabVIEW

2.1 Přejít od klasické instrumentace k instrumentaci virtuální

Vývoj měřicí techniky obecně i vývoj v celosvětovém měřítku sleduje trend zvyšující se flexibility měřicích systémů, což nutí výrobce měřicí techniky vytvářet stále komplexnější měřicí zařízení. Flexibilita měřicího systému je jeho schopnost uspokojit potřeby koncového uživatele.

U klasických analogových měřicích přístrojů bez komunikačního rozhraní (voltmetry, ampérmetry, multimetry, osciloskopy, ...) definuje funkce měřicího přístroje jednoznačně jeho výrobce a koncový uživatel může využít pouze těch funkcí, které měl od výrobce v přístroji implementovány – flexibilita takového měřicího systému je tedy nízká. Sběr dat z těchto přístrojů byl omezen obvykle na opisování dat z displeje měřicího přístroje, což bylo často zdrojem chyb měření.

Tento aspekt klasické měřicí techniky vedl v počátcích ke snaze zefektivnit přebírání naměřených hodnot s vyloučením lidského činitele přímou komunikací měřicího přístroje s počítačem. Díky zvyšujícím se výkonnostním parametrům a klesající ceně postupně nastal masivní průnik výpočetní techniky i do oblastí, pro které dříve nebyla určena, včetně oblasti měřicí techniky. Výrobci měřicí techniky reagovali na tento průnik vybavováním svých měřicích přístrojů komunikačním rozhraním umožňujícím interakci počítače a měřicího přístroje. Mezi tato rozhraní patří například rozhraní RS 232, GPIB, Ethernet a další.

Propojení počítače s měřicím přístrojem umožňuje doplnit funkce definované jeho výrobcem funkcemi, které lze naprogramovat do řídicího počítače. Funkce měřicího přístroje lze v tomto případě obvykle omezit pouze na sejmутí měřených dat a jejich přenos přes rozhraní do počítače. Zde proběhne jejich následné zpracování, při kterém lze softwarově realizovat i funkce, které do měřicího přístroje nebyly implementovány. Takto lze např. z digitálního osciloskopu jednoduchým způsobem udělat frekvenční analyzátor, který je obvykle o řád dražší. Flexibilita tohoto měřicího systému je zde výrazně vyšší.

Při analýze propojení měřicího přístroje přes komunikační rozhraní k počítači výrobci měřicí techniky došli k závěru, že se z měřicího přístroje využije pouze vstupních obvodů a paměti určené pro data, což vedlo k dalšímu kroku vývoje této techniky směrem k tzv. virtuálním měřicím přístrojům.

Podstatou virtuálního přístroje je doplnění otevřené architektury personálního počítače tím, co mu chybí, aby mohl plnit úlohu měřicího přístroje. V oblasti hardwaru jsou to měřicí moduly a v oblasti softwaru je to vhodný program pro počítač, který realizuje všechny funkce měřicího přístroje a plní tak úlohu firmwaru měřicího přístroje. Zabraňuje se tak i duplicitě, která se objevuje při propojení měřicího přístroje a počítače.

Měřicí moduly tvoří nejvyšší stupeň nového přístupu k měření – tzv. virtuální instrumentace. Srovnání klasických měřicích přístrojů a virtuálních měřicích přístrojů ukazuje následující tabulka:

Hledisko	Tradiční přístroj	Virtuální přístroj
Funkce jsou definovány	výrobce	uživatel
Orientace přístrojů a jejich propojitelnost	specifické podle funkcí, hlavně používané samostatně s omezenou propojitelností	specifické podle aplikace, propojitelnost s návazností na počítačové sítě a periférie
Klíčová část	hardware	software
Náklady na výrobu a opakovatelnost použití	vysoké	nízké, opakovatelně použitelné
Architektura	uzavřená, pevná množina funkcí	otevřená, pružná funkčnost odrážející výkonnost výpočetní techniky
Návaznost na technologický proces	pomalá, doba obměny: 5 – 10 let	rychlá, doba obměny: 1 – 2 roky
Náklady na vývoj a údržbu	vysoké, horší poměr výkon/cena	nízké, dobrý poměr výkon/cena

Tab. 1: Srovnání tradičního a virtuálního přístroje

Filosofie virtuálních měřicích přístrojů je velmi progresivní, neboť umožňuje při zachování výkonnostních parametrů klasické měřicí techniky vytvářet přístroje, jejichž funkce přesně odpovídají požadavkům uživatele, neboť jsou tyto funkce realizovány softwarově. Navíc tato koncepce umožňuje doplňovat další funkce podle narůstajících a měnících se potřeb koncového uživatele. Cena takto vytvářených měřicích přístrojů bývá nižší, než je cena klasické analogové měřicí techniky. Navíc je možno kdykoliv změnou programu vytvořit jiný měřicí přístroj nebo upravit vlastnosti stávajícího.

Při spojení měřicího přístroje a počítače přes rozhraní nebo při vytváření virtuálních měřicích přístrojů hraje vedle hardwarových prostředků v podobě počítače a přídatných karet čím dál významnější roli software – stává se klíčovým komponentem měřicího systému. [1]

2.2 Programovací prostředí LabVIEW

Programovací a vývojové prostředí **LabVIEW** (z angl. *Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench*) čili „laboratorní pracoviště virtuálních přístrojů“, někdy též LV, je produktem americké společnosti National Instruments, která je průkopníkem a největším výrobcem v oblasti virtuální instrumentace.

LabVIEW je obecným vývojovým prostředím s bohatými knihovnami pro vytváření aplikací zaměřených do oblasti měření ve všech jeho fázích tj. sběru, analýzy a prezentace naměřených dat. Podporuje všechny základní metody určené pro sběr dat do počítače tj. sběr dat z měřicích přístrojů přes rozhraní RS 232 nebo GPIB, ze zásuvných multifunkčních karet a ze systému na bázi VXI sběrnice. Poskytuje uživateli plnohodnotný programovací jazyk se všemi odpovídajícími datovými a programovými strukturami v grafické podobě – tzv. G jazyk (Graphical language).

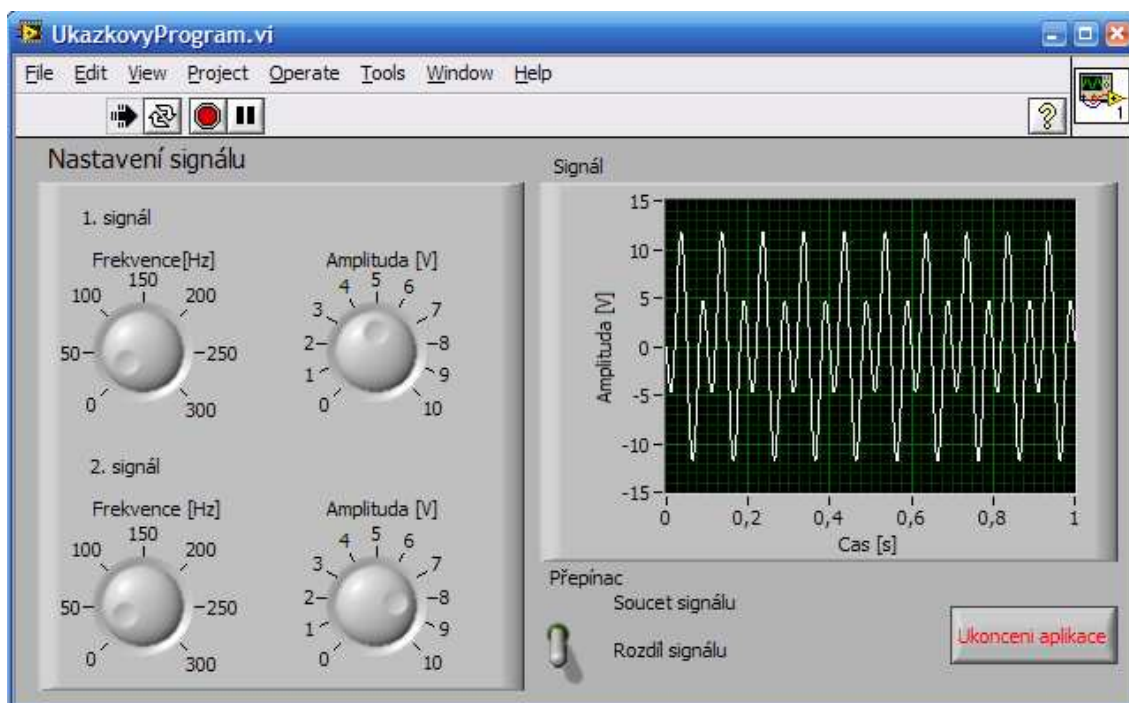
LabVIEW je tedy vývojové prostředí na úrovni např. C jazyka, ale na rozdíl od něj není orientován textově, ale graficky. Výsledný produkt tohoto vývojového prostředí se nazývá virtuálním přístrojem (Virtual Instrument), protože svými projevy a činnostmi připomíná klasický přístroj ve své fyzické podobě.

2.2.1 Virtuální přístroj

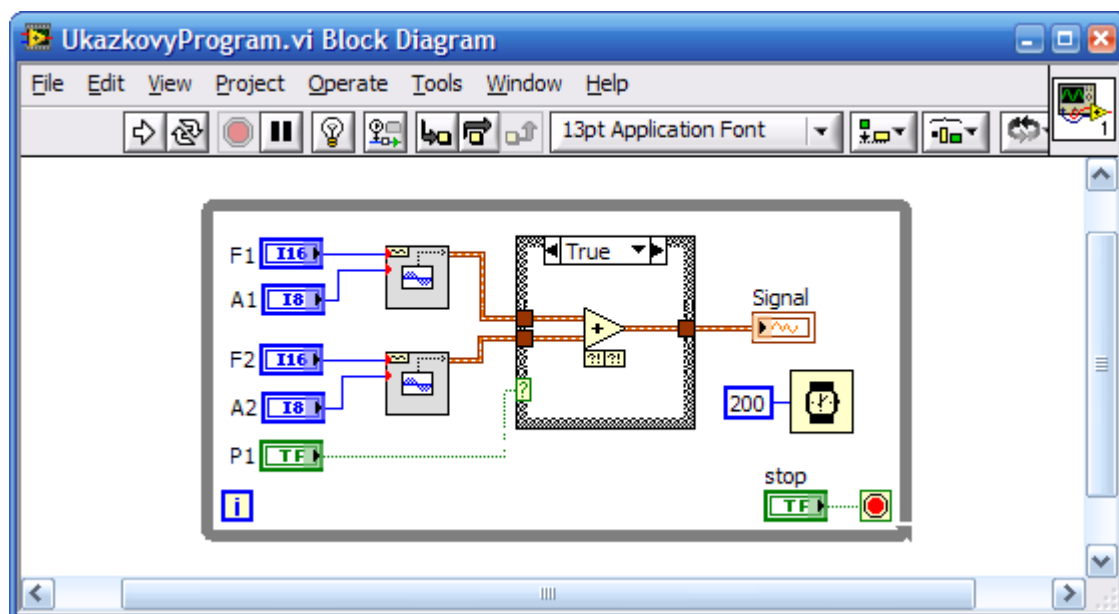
Virtuální přístroj obsahuje:

- Interaktivní grafické rozhraní (Graphical User Interface – GUI) ke koncovému uživateli – **čelní panel** (Front panel) (Obr. 1), který simuluje čelní panel fyzického přístroje. Obsahuje prvky jak pro ovládání tak i pro indikaci (knoflíky, tlačítka, LED indikátory, grafy ...). Tento čelní panel ovládá uživatel pomocí myši nebo klávesnice.
- Činnost virtuálního přístroje je definována jeho blokovým schématem (Block Diagram) (Obr. 2). Blokové schéma je vytvořeno ikonami reprezentujícími v koncových blocích ovládací a indikační prvky čelního panelu a ve svých uzlových blocích jsou to bloky zpracovávající procházející data. Blokovaný diagram je zdrojovou podobou každé aplikace.
- Virtuální přístroj má hierarchickou a modulární strukturu. Je možné jej využívat jako celý program nebo jako jednotlivé podprogramy tj. podřízené virtuální přístroje (subVI). Součástí každého virtuálního přístroje je ikona, kterou je prezentován v blokovém schématu a konektor s přípojnými místy pro vstupní a výstupní signály.

Těmito charakteristickými rysy naplňuje vývojové prostředí LabVIEW podmínky modulárního programování.



Obr. 1: Předního panel



Obr. 2: Blokové schéma

2.2.2 Výhody programovacího jazyka LabVIEW

- Intuitivní grafický způsob programování zvláště vhodný pro uživatele bez předchozí zkušenosti programování (programátor se zbavuje starostí s řadou syntaktických detailů konvenčního programování a může se plně soustředit na řešení zadaného problému).
- Stovky integrovaných funkcí pro měření a analýzu.
- Možnost běhu aplikací na různých platformách a v embedded systémech.
- Jediné grafické programové prostředí, které obsahuje kompilátor generující optimalizovaný kód, jehož rychlost vykonání je srovnatelná s rychlostí kompilovaných programů v jazyce C.
- Aplikace jsou plně srovnatelné s aplikacemi vytvořenými i nízko úrovněnými jazyky jako je C, avšak komfort jejich vytváření je podstatně vyšší. [1]

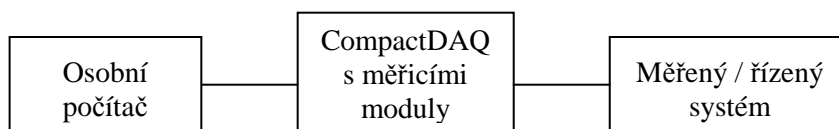
2.3 Popis hardwarové platformy CompactDAQ firmy National Instrument

Modulární systém CompactDAQ (Obr. 3), který se připojuje k osobnímu počítači přes sběrnici USB, je kompaktní a odolné zařízení pro zpracování signálů ze snímačů, úpravu signálu a A/D, D/A převod, umí zpracovat digitální vstupy a výstupy, signál GPS, atd. Nové polovodičové součástky, modulární provedení a flexibilita softwaru umožňuje rychle a přesně měřit i při zachování malých rozměrů měřicího přístroje a to jak v laboratořích tak i v terénu a nebo na výrobních linkách v továrních provozech.



Obr. 3: Modulární systém CompactDAQ

CompactDAQ umožňuje v kombinaci s osobním počítačem vytvořit plně automatizovaný měřicí či řídicí systém (Obr. 4). Jedna základní deska systému pojme až osm modulů až s 256 kanály pro měření elektrických, mechanických, akustických a jiných fyzikálních veličin. Přesné a bezpečné měření je zajištěno samostatně izolovanými moduly se zabudovanými vlastními obvody pro úpravu signálu a A/D převodníky.



Obr. 4: Blokové schéma

2.3.1 Charakteristické rysy

- Malý robustní měřicí systém určený pro aplikace vyžadující vysokou spolehlivost, malé rozměry, nízkou cenu a velký výkon.
- Obsahuje průmyslové vstupně/výstupní (I/O) za provozu vyměnitelné moduly s vestavěným obvodem pro úpravu signálu sloužící k přímému připojení různých senzorů a akčních členů.
- Využívá grafický programovací nástroj LabVIEW firmy National Instruments k rychlému vývoji aplikací.
- Provozní teplota: 0 až 55°C.
- Izolační odolnost až do 2300 V_{RMS}.
- Napájecí napětí: 11 až 30V.
- Odolnost vůči nárazu 30g. [2],[3],[4]

2.4 CompactDAQ NI cDAQ – 9172

CompactDAQ šasi (Obr. 5) je srdcem celého systému, protože slouží k propojení konfigurovatelných vstupně/výstupních modulů.



Obr. 5: CompactDAQ NI cDAQ – 9172

Parametry:

- 8 slotů pro I/O moduly.
- Vysokorychlostní připojení k PC přes USB.
- Až 256 analogových vstupů, nebo 32 analogových výstupů, nebo 64 digitálních I/O.
- Vzorkování až 3,2MS/s. [4]

2.5 Moduly připojitelné do platformy CompactDAQ

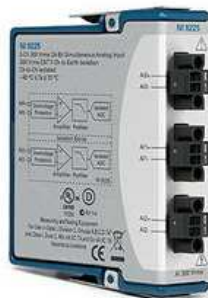
Většina modulů je vybavena digitální izolací, která zabraňuje zničení základní desky, dalších modulů i připojeného počítače při případném elektrostatickém výboji, přepětí v napájení, apod. Většina vstupně/výstupních (I/O) modulů má krátkodobou izolační odolnost do 2 300V a trvalou do 250V, vyjádřeno v efektivních hodnotách elektrického napětí.

Vedle běžných modulů s 24bitovým rozlišením pro měření statických signálů jako je stejnosměrné elektrické napětí a teplota, existují i moduly analogových výstupů pro řízení akčních členů. Pro měření dynamicky se měnících fyzikálních veličin (zvuk, vibrace, tlak) a přechodových elektrických signálů je možné využít i speciální modul se vzorkovací frekvencí až 50kHz na kanál. Rychlost hardwarově taktovaných digitálních linek I/O je až 10MHz, a proto je lze využít i jako logický analyzátor a pro testování smíšených signálů. Moduly lze přidávat a odpojovat i za chodu systému (hot swap) a průběžně tak měnit konfiguraci systému podle potřeby.

Každý měřicí modul je vybaven konektorem pro připojení signálů, obvodem pro úpravu signálu a A/D převodníkem. V porovnání s měřicími systémy skládanými ze samostatných komponent propojených kabely se tak zjednodušuje a zrychluje zapojování signálů a vylučují se potenciální zdroje chyb či šumu. Typ konektoru vždy odpovídá předpokládanému použití modulu: např. modul s napěťovými vstupy je vybaven šroubovacími svorkami a modul pro měření dynamických signálů má konektory BNC, které jsou pro tento typ měření nejvhodnější s ohledem na obvyklé standardy a eliminaci rušení

2.5.1 Analogový vstupní modul NI 9225

Pro měření napěťových signálů analyzátoru harmonických byl vybrán modul NI 9225 (Obr. 6).



Obr. 6: Analogový modul NI 9225

Parametry:

- 24 bitové rozlišení.
- Vstupní rozsah: $300V_{RMS}$.
- Maximální vzorkovací frekvence 50kS/s na kanál.
- Připojení pomocí šroubových svorek.
- Umožňuje měřit až 3 napěťové kanály.
- Obsahuje antialiasing filtr. [4]

2.5.2 Analogový vstupní modul NI 9239

Měření proudových signálů analyzátoru harmonických je realizováno pomocí proudových kleští MN71 od firmy Chauvin Arnoux, které jsou popsány v další kapitole. Na výstupu z kleští je napětí odpovídající měřenému proudu a toto napětí je měřeno pomocí modulu NI 9239 (Obr. 7).



Obr. 7: Analogový modul NI 9239

Parametry:

- 24 bitové rozlišení.
- Vstupní rozsah: $\pm 10\text{V}$.
- Maximální vzorkovací frekvence 50kS/s na kanál.
- Připojení pomocí šroubových svorek.
- Umožňuje měřit až 4 napěťové kanály.
- Obsahuje antialiasing filtr. [4]

2.6 Proudové kleště MN71 od firmy Chauvin Arnoux

Měření proudu je realizováno pomocí proudových kleští MN71 (Obr. 8).



Obr. 8: Proudové kleště MN71

Parametry:

- Měřicí rozsah: od 10mA do 12A.
- Výstupní napětí 1V AC.
- Převodní poměr – 1A/100mV.
- Kmitočtový rozsah: od 40Hz do 10kHz.
- Typická přesnost: $\leq 1\%$.

3. Seznámení se s požadavky na analyzátor harmonických dle ČSN 61000-4-7 ed.2

3.1 Základní pojmy

3.1.1 Elektrický proud

Elektrický proud udává množství náboje, které projde průřezem vodiče za jednotku času. Elektrický proud se značí - I , základní jednotkou je - A (ampér).

Prochází – li náboj vodičem rovnoměrně je elektrický proud určen jako podíl celkového náboje Q , který projde průřezem vodiče, a doby t , za který projde.

$$I = \frac{Q}{t} \quad [A] \quad (3.1)$$

Definice ampéru: Vodičem prochází proud 1A, jestliže projde průřezem vodiče náboj 1C za 1s.

Prochází – li náboj vodičem nerovnoměrně určuje se hodnota okamžitého proudu. [5]

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt} \quad [A] \quad (3.2)$$

3.1.2 Elektrické napětí

Elektrické napětí je určeno jako práce vykonaná elektrickými silami při přemísťování kladného elektrického náboje mezi dvěma body prostoru. Elektrické napětí lze také vyjádřit jako rozdíl elektrických potenciálů v obou bodech prostoru.

Elektrické napětí se značí - U , základní jednotkou je - V (volt)

Definice voltu: Napětí 1V je takové napětí, které je mezi konci vodiči, do kterého konstantní proud 1A dodává výkon 1W. V takovém případě má vodič odpor 1 Ω .

Rozdělení napětí podle změn velikosti:

- **Stejnoseměrné napětí** je takové napětí, které nemění v čase svojí polaritu, velikost měnit může.
- **Střídavé napětí** je napětí, které se v čase mění s určitou periodou, přičemž jeho střední hodnota nemusí být nulová. Časový průběh (tvar) napětí může být libovolný, nejčastěji má tvar sinusový. Dalšími průběhy mohou být pilovité, obdélníkové nebo libovolné jiné.

Pro okamžitou hodnotu napětí platí:

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi_0) \quad [\text{V}] \quad (3.3)$$

V praxi se mohou vyskytovat napětí, která mají jak střídavou, tak stejnosměrnou složku. [6]

3.2 Kvalita elektrické energie

Elektrická energie patří v dnešní době mezi nejdůležitější komoditu využívanou v obchodě a průmyslu. Nelze ji v masovém měřítku skladovat a nelze proto před použitím prověřovat její kvalitu. Je typickým příkladem přístupu „Just in Time“, kdy jsou komponenty dodávány přímo do výroby v daném okamžiku a místě osvědčeným způsobem bez nutnosti kontroly. K úspěšnosti této metody je nutné znát spolehlivost dodávky elektřiny a schopnost dodavatele reagovat na změny.

Kvalitou elektrické energie se myslí charakteristika elektřiny v daném bodě elektrické sítě vyhodnocená vůči souboru referenčních technických parametrů. Elektrická energie se zhoršenými parametry kvality se čím dál častěji stává nejdůležitějším problémem pro průmysl a firmy poskytující služby, a proto pojem kvality elektrické energie dnes velmi rychle nabývá na důležitosti. Je to dáno především tím, že v případě nedodržení příslušných parametrů může dojít ke vzniku problémů, či hmotných škod na majetku, ale i zdraví. Očekávané hodnoty elektrické energie jsou tedy definovány v předávacím místě (tj. přechod od rozvodného zařízení dodavatele k odběrnému zařízení spotřebitele).

Elektrická energie se vyrábí v elektrárnách vzdálených od místa spotřeby v předepsané standardní kvalitě dle norem a prostřednictvím přenosových a distribučních sítí (transformátory, vzdušná a kabelová vedení) je dodávána až ke konečnému odběrateli. Proti tomuto požadavku ovšem působí celá řada faktorů, které mohou ovlivnit konečnou kvalitu elektrické energie, mezi které patří např.: atmosférické vlivy (účinek blesku), používání některých elektrických spotřebičů (elektronické regulátory výkonů a otáček, napájecí zdroje elektronických přístrojů), nutné provozní manipulace v síti, časté spínání velkých spotřebičů, působení ochran a automatizačních prostředků k omezení poruchových stavů atd. Výše uvedené faktory mohou způsobovat odchylky hodnoty úrovně napájecího napětí (přepětí, podpětí nebo přerušení

napájecího napětí), odchylky od sinusového průběhu napětí (harmonické složky napětí), nesymetrii napětí. Garantovat kvalitu elektrické energie tedy není snadný úkol.

Klasický případ poruchy je úplné přerušení dodávky nebo pokles napětí. Dlouhé přerušení má důsledky pro všechny odběratele, ale řada výrobních procesů je velice citlivá i na velmi krátké přerušení např.: nepřetržitá výroba (papírenský průmysl – narušení synchronizace strojů, znehodnocení materiálu), víceetapňová dávková výroba (polovodičový průmysl – zničení hodnot předchozích operací), zpracování dat (devizové operace, obchody s akcemi).

Kvalita dodávané elektrické energie stačí k tomu, abychom mohli provozovat a bezproblémově používat naprostou většinu elektrických přístrojů. Všechny rušivé projevy jsou vyhodnocovány pomocí prostředků pro monitoring a analýzu tj. soustava standardů definující projevy rušení, metody měření, přípustné hodnoty rušení a přístroje určené k měření případně analýze elektrických veličin, u kterých lze na základě výsledných údajů rozhodnout, zda se jedná o hodnoty povolené či nikoliv.

V současnosti více či méně trpí problémy způsobenými špatnou kvalitou elektrické energie většina energeticky náročných pracovišť. K dosažení dobré úrovně kvality dodávané elektrické energie je nezbytný vhodný návrh zařízení, účinná filtrace a kompenzace, spolupráce s dodavatelem, aktivní sledování provozních parametrů a údržba, respektive je nutný komplexní přístup a dostatečná znalost této problematiky. [7]

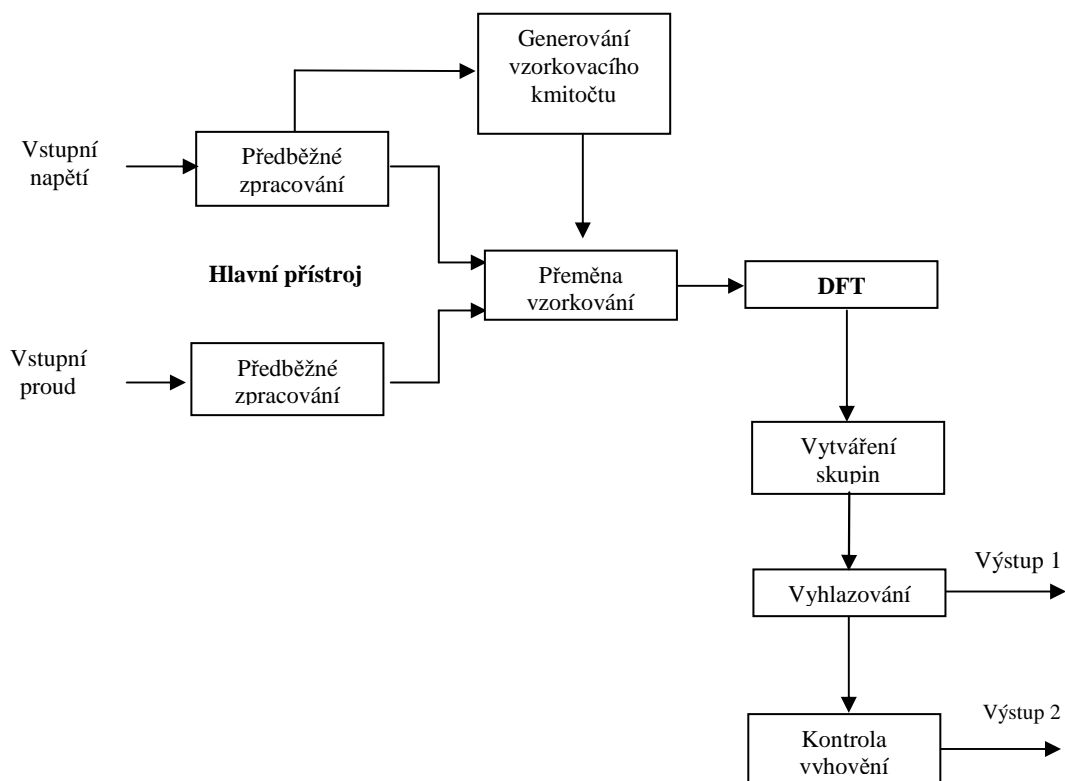
3.3 Požadavky na analyzátor harmonických dle normy ČSN EN 61000-4-7ed. 2 z roku 2003

Hlavní přístroj má obsahovat:

- vstupní obvody s anti-aliasing filtrem
- A/D převodník
- obvody pro vzorkování a ukládání navzorkovaného signálu
- algoritmus DFT vytvářející Fourierovy koeficienty a_m a b_m

Pro úplnou shodu s normou musí být měřeného 10 (napájecí síť s frekvencí 50 Hz) nebo 12 (napájecí síť s frekvencí 60 Hz) period bez použití okenních funkcí. Použití Hanningovo okénka je dovoleno jen v případě ztráty synchronizace. Tato ztráta synchronizace musí být indikována na displeji přístroje a k takto získaným datům se musí přidělit označení.

Na následujícím obrázku (Obr. 9) je zobrazena všeobecná struktura měřicího přístroje. [9]



Obr. 9: Všeobecná struktura měřicího přístroje

3.4 Frekvenční analýza

Pro řešení řady úloh je účelné transformovat časový průběh procesu do frekvenční oblasti, tedy nahradit jej posloupností jeho frekvenčních složek. Tato operace se nazývá **frekvenční (kmitočtová) analýza**. Takto získané frekvenční složky poskytují důležité informace především o harmonických složkách v signálu.

U periodických procesů se určení amplitud a fázových úhlů jednotlivých harmonických složek nazývá harmonickou analýzou – používá se k tomu rozvoje Fourierovy řady. Získaná spektra (amplitudová a fázová) jsou diskrétní. U náhodných procesů se ke stejnému účelu provádí Fourierova integrální transformace – získaná spektra jsou spojitá. [10]

3.4.1 Fourierova řada

Každý periodický proces je možno interpretovat jako superpozici nekonečně mnoha elementárních průběhů sinusového nebo kosinusového tvaru.

Periodická funkce je charakterizována rovností vzájemně posunutých funkčních hodnot $x(t) = x(t+iT)$, kde T je perioda a $i = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ je její násobek. Do tvaru (bodově) konvergentní Fourierovy nekonečné řady lze rozvinout tuto funkci, $x(t)$, za podmínky, že je po úsecích hladká, což znamená, že tato funkce a její první derivace má konečný počet bodů nespojitostí a konečné jednostranné limity. Definiční vzorce jsou následující :

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} F_k \exp\left(j \frac{2\pi}{T} kt\right), \quad (3.4)$$

$$F_k = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) \exp\left(-j \frac{2\pi}{T} kt\right) dt, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

kde F_k , $k=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ jsou koeficienty Fourierovy řady. Součet Fourierovy řady je v bodech nespojitosti roven aritmetickému průměru jednostranných limit. Fourierovu řadu s harmonickými funkcemi v exponenciálním tvaru lze převést na řadu, která obsahuje funkce sinus a kosinus. Fourierova řada tedy představuje rozklad signálů na konečný počet dvojic vektorů, které rotují proti sobě

$$x(t) = F_0 + \sum_{k=1}^{+\infty} (a_{+k}(t) + a_{-k}(t)) \quad (3.5)$$

Fourierova řada k dané funkci $x(t)$, která splňuje Dirichletovy podmínky o spojitosti funkce v uvažovaném časovém intervalu, je nekonečná řada

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos(k\varpi t) + \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin(k\varpi t), \quad (3.6)$$

$$\text{kde } a_k = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos(k\varpi t) dt, \quad k=0, 1, 2, \dots; \quad b_k = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin(k\varpi t) dt, \quad k=1, 2, \dots$$

T ...základní perioda; $\varpi = \frac{2\pi}{T}$... základní úhlová frekvence.

Vhodnější vyjádření Fourierovy řady je ve tvaru

$$x(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos(k\omega t + \Psi_k), \quad (3.7)$$

$$\text{kde } A_0 = \frac{a_0}{2}, \quad A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}, \quad \Psi_k = \arctg \frac{-b_k}{a_k}, \quad k=1, 2, \dots$$

Určování koeficientů A_k a Ψ_k se nazývá **harmonickou analýzou**. Jednotlivé elementární průběhy $A_k \cos(k\omega t + \Psi_k)$ jsou nazývány **harmonickými složkami** nebo jen harmonickými. Veličina A_k je pak **amplitudou** a Ψ_k **fází harmonické složky**. Přiřazení amplitud ke kmitočtu se nazývá **spektrum amplitud**; přiřazení fázových úhlů ke kmitočtu je pak **spektrum fázových úhlů**.

Vzhledem k tomu, že koeficienty A_k jsou určeny jen hodnotami funkce v intervalu periodicity $(0, T)$, je možno sestavit Fourierovu řadu i k funkci, která není periodická, ale která je buď definována jen na intervalu $(0, T)$ nebo která je různá od nuly jen na konečném intervalu.

Výkonové spektrum periodického signálu představuje výkony jednotlivých harmonických složek na odporu 1Ω , čili posloupnosti hodnot $A_k^2/2$, kde A_k jsou amplitudy jednotlivých harmonických složek. Toto spektrum popisuje frekvenční rozložení výkonu periodického signálu. [10],[11]

3.4.2 Fourierova transformace

Průběh signálu se obvykle znázorňuje v čase, jinak řečeno v časové oblasti – doméně. Posuzování časového průběhu signálu vhodně doplňují i jeho vlastnosti prezentované rozkladem na soubor elementárních funkcí. Nejpřirozenější pro technické aplikace nejen v oboru kmitání mechanických systémů je rozklad na soubor harmonických funkcí, které se liší amplitudou, úhlovou frekvencí a svou počáteční fází. Jestliže se u souboru harmonických signálů znázorní závislost amplitudy a počáteční fáze na frekvenci, pak je signál znázorněn ve frekvenční oblasti – doméně. Rozklad periodické funkce se spojitým časem na kombinaci harmonických signálů se nazývá Fourierova (nekonečná) řada. Pro obecné účely neperiodické funkce se používá Fourierova transformace.

U Fourierovy transformace (zkráceně FT) se nahrazuje původní signál (*originál*) posloupností harmonických funkcí rozdílných frekvencí a fází tak, aby součet těchto jednoduchých vln dal originál. Tato **přímá FT** je definována vztahem :

$$X(f) = F\{x(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot \exp(-j2\pi ft) dt \quad (3.8)$$

Komplexní funkce $X(f)$ se potom nazývá Fourierovou transformací nebo obrazem komplexní nebo reálné funkce $x(t)$.

Originály je pak možno získat z obrazů **zpětnou (inverzní) FT** definovanou vztahem :

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) \cdot \exp(j2\pi ft) df \quad (3.9)$$

Ve složkovém tvaru

$$F\{x(t)\} = X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot \cos(2\pi ft) dt - j \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot \sin(2\pi ft) dt \quad (3.10)$$

$$X(f) = \operatorname{Re}\{X(f)\} - j \operatorname{Im}\{X(f)\} \quad (3.11)$$

Je – li funkce $x(t)$ sudá, tj. platí – li $x(-t) = x(t)$, pak funkce $x(t) \cdot \cos(2\pi ft)$ je také sudá a funkce $x(t) \cdot \sin(2\pi ft)$ je lichá; na uvedeném intervalu potom je :

$$\int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot \sin(2\pi ft) dt = 0 \quad (3.12)$$

a tedy

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot \cos(2\pi ft) dt = 2 \int_0^{\infty} x(t) \cdot \cos(2\pi ft) dt \quad (3.13)$$

Analogicky by se určila inverzní Fourierova transformace $x(t)$

$$x(t) = 2 \int_0^{\infty} X(f) \cdot \cos(2\pi ft) df \quad (3.14)$$

Mají – li být celkové energie v časové a frekvenční oblasti stejné (Parsevalův teorém), musí platit :

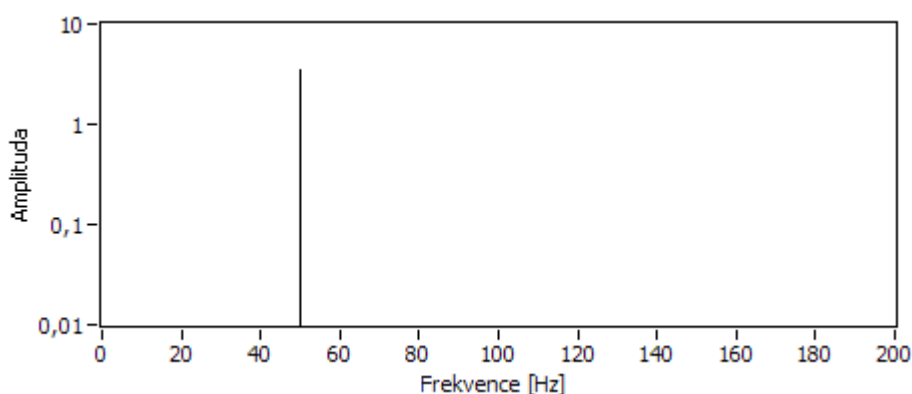
$$\int_{-\infty}^{\infty} [x(t)]^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} |X(f)|^2 df \quad (3.15)$$

Při zpracování náhodných procesů v počítači se vychází z navzorkovaných dějů. Zde se potom využívá **diskrétní Fourierova transformace** (DFT). V tomto případě má tedy jak originál tak i obraz diskrétní průběh. Výpočet DFT je časově náročný – předpokládá provést N^2 komplexních násobení a N^2 komplexních sčítání (N je počet vzorků). Tuto činnost efektivně zkracují algoritmy **rychlé Fourierovy transformace** (FFT). Podstatou metody FFT je volba zvláštní délky záznamu, a to $N = 2^m$, kde m je přirozené číslo. Tato volba, která označuje v angličtině radix 2, vede k délkám záznamů např. $N = 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192$, které jsou dosti blízké k dekadické řadě. [9], [10]

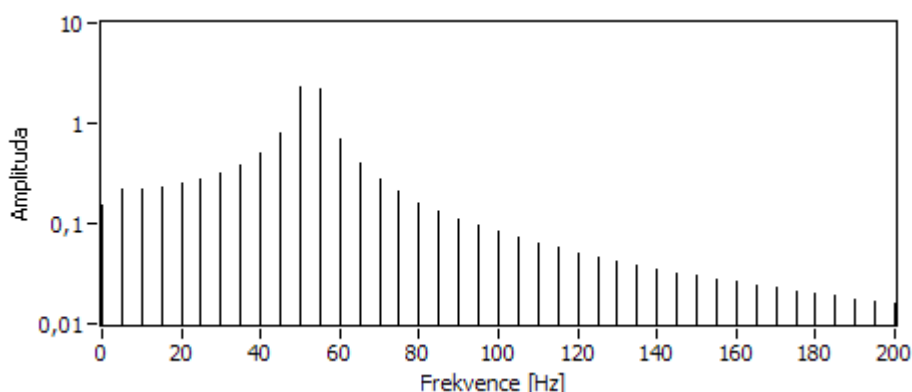
3.5 Prosakování energie ve spektru

Jedním z problémů při spektrální analýze signálu pomocí diskrétní Fourierovy transformace (DFT, v praxi nejčastěji realizované jako rychlá Fourierova transformace - FFT) je prosakování energie ve spektru, označované běžně anglickým termínem „**leakage**“. Projevuje se zejména při spektrální analýze periodických průběhů, pokud odebrané vzorky nepokrývají celistvý počet period signálu. Nejhorší případ prosakování nastává, pokud je navzorkován úsek signálu délky celého počtu period a navíc půlperiody. Protože DFT předpokládá periodické opakování navzorkovaného průběhu, liší se pochopitelně Fourierova řada periodického prodloužení sejmuté části průběhu od Fourierovy řady periodického prodloužení jedné periody nebo celého počtu period signálu. V případě sinusového signálu se tento jev projeví tím, že v pásmu frekvencí od nuly do poloviny vzorkovací frekvence je spektrum tvořeno řadou čar místo jedině.

Toto je dobře patrné na následujících obrázcích. Na prvním obrázku (Obr. 10) je spektrum 50Hz signálu, u kterého bylo navzorkováno 10 period. Na druhém obrázku (Obr. 11) je spektrum 50Hz signálu, který byl vzorkován v délce 10 a půl periody.



Obr. 10: Spektrum 50Hz signálu – navzorkováno 10 period

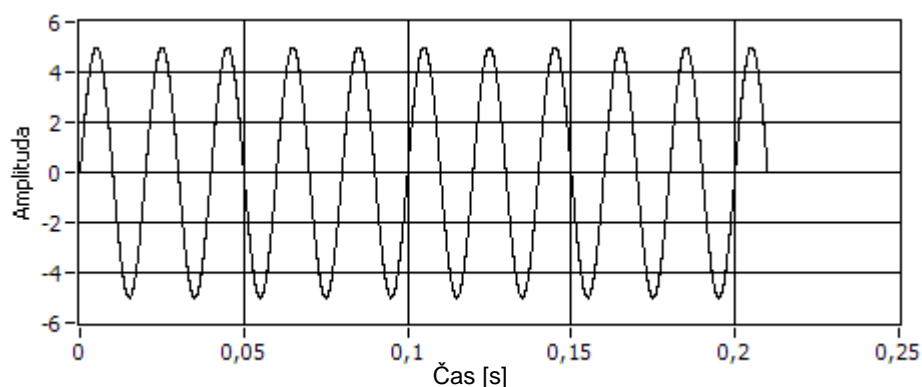


Obr. 11: Spektrum 50Hz signálu – navzorkováno 10 a půl periody

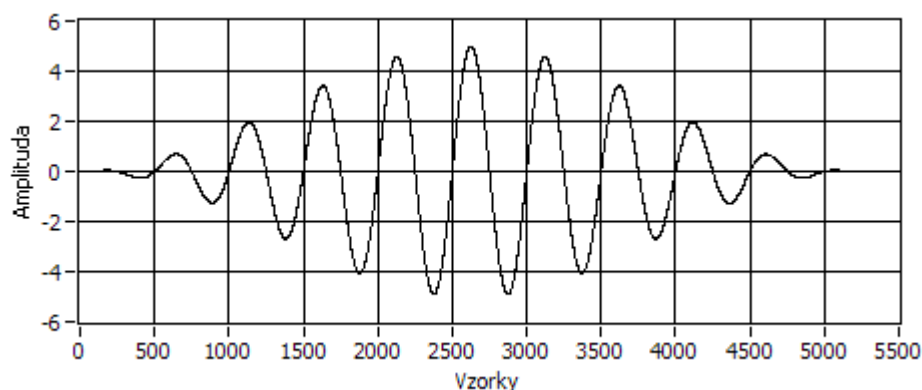
3.5.1 Snížení prosakování energie ve spektru pomocí aplikace vhodného okénka

Prosakování energie lze snížit vynásobením signálu vhodným okénkem, které ve většině případů nabývá plynule nulových hodnot na obou koncích. Periodické prodloužení takto upraveného signálu má potlačené skoky v obálce posloupnosti vzorků a čáry v DFT spektru způsobené prosakováním mají menší délky. Spektrum je proto tvarově bližší spektru správnému. Vynásobením signálu oknem ovšem mění také délky správných čar spektra i efektivní hodnotu a výkon signálu. Dokonalejší metody proto spektrum upravují nejen vynásobením okénkem v časové oblasti, ale navíc i interpolací ve frekvenční oblasti.

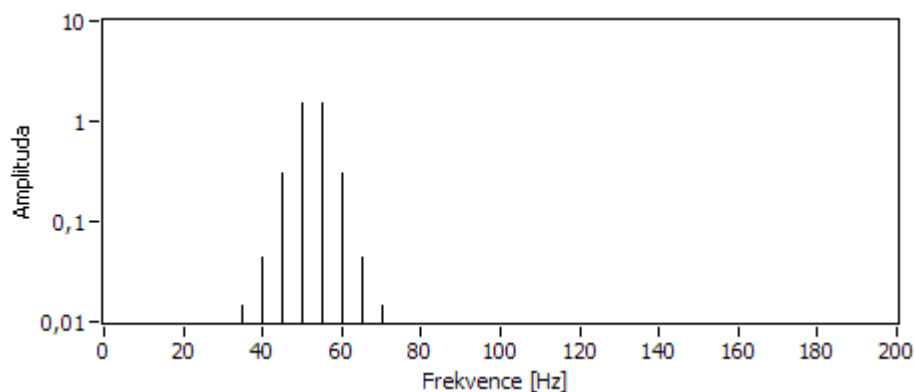
Na následujícím obrázku (Obr. 12) je průběh 50Hz signálu navzorkovaného v délce 10 a půl periody a je na něj aplikováno Hanningovo okénko (Obr. 13). Následuje spektrum tohoto signálu (Obr. 14). S porovnáním s obrázkem (Obr. 11), na kterém je spektrum signálu bez aplikace Hanningova okénka, se spektrum výrazně blíží spektru skutečnému (Obr. 10).



Obr. 12: 50Hz signál – navzorkováno 10 a půl periody



Obr. 13: 50Hz signál – navzorkováno 10 a půl periody – aplikace Hanningova okénka

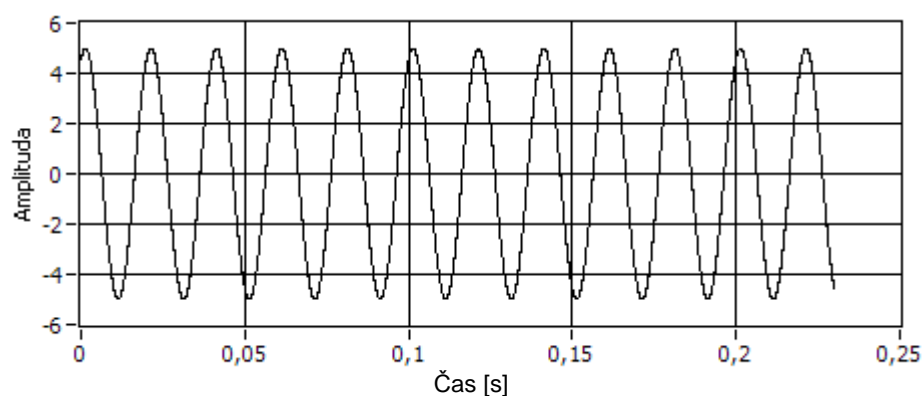


Obr. 14: Spektrum 50Hz signálu – navzorkováno 10 a půl periody – aplikace Hanningova okénka

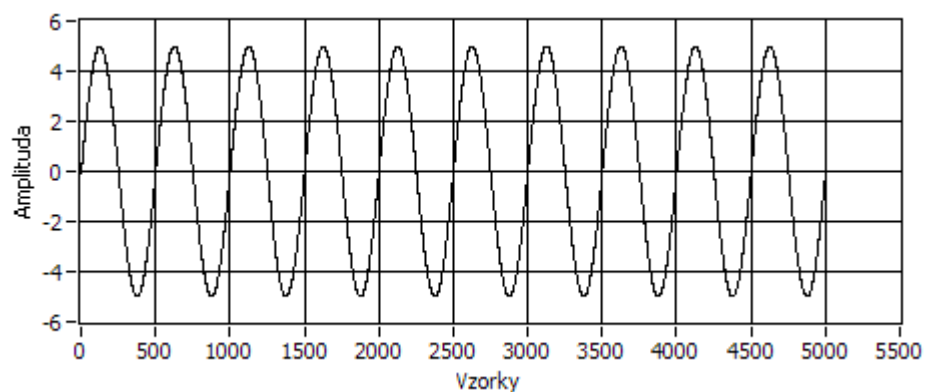
3.5.2 Snížení prosakování energie pomocí úpravy vzorkování

Druhou možností jak snížit prosakování energie je upravit vzorkovaný úsek signálu tak, aby pokryl celistvý počet period a na tento úsek aplikovat transformaci DFT. K tomu je nejprve nutné určit dobu periody (nebo frekvenci) signálu, a poté z navzorkovaného úseku vybrat kratší část, která zahrnuje celý počet period. V praxi je navíc vhodné použít pro analýzu algoritmy rychlé Fourierovy transformace (FFT). [11]

Na následujícím obrázku (Obr. 15) je průběh 50Hz signálu. Z tohoto průběhu je vybráno přesně 10 period pro další zpracování (Obr. 16).



Obr. 15: 50Hz signál – navzorkováno 11 a půl period



Obr. 16: Průběh 50Hz signálu – vybráno přesně 10 period

Nevýhodou této metody je, že při vybrání přesného počtu desíti period se ztrácí část původního signálu. Jedná se o část signálu navzorkovaného před a část signálu navzorkovaného po výběru přesného počtu period. Nejedná se tedy o kontinuální měření bez děr, ale dochází ke ztrátě části naměřené informace.

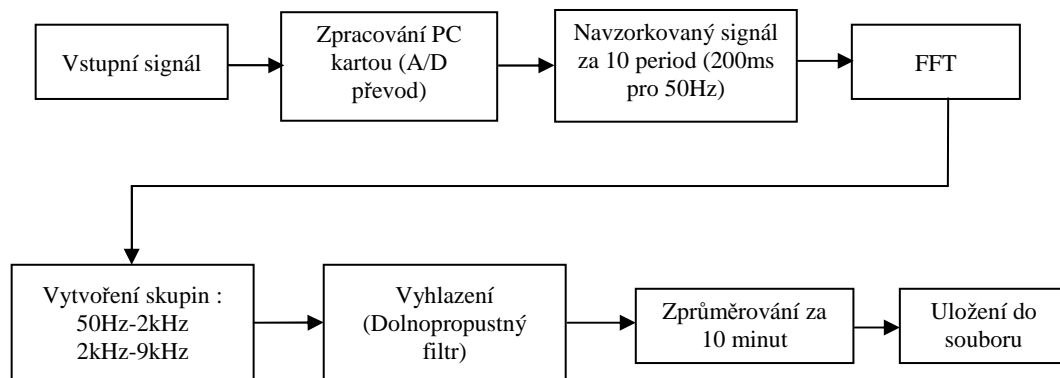
4. Návrh a implementace měřicí aplikace

Měřicí aplikace řešící měření a analýzu signálu v napájecí síti byla implementována v grafickém vývojovém prostředí LabVIEW verze 8.5 a 8.6.

Pro úplnou shodu s normou ČSN EN 61000-4-7 ed. 2 musí být naměřeno 10 period signálu (napájecí síť s frekvencí 50Hz) bez použití okenních funkcí. Základní časové okno je pro tuto jmenovitou frekvenci rovno $T_w = 200\text{ms}$. Pro zachování Shannon – Kotelníkova vzorkovacího teorému musí být vzorkovací frekvence větší nebo rovno dvojnásobku maximální měřené frekvence. Měřicí aplikace zpracovává signál v kmitočtovém rozsahu až do 9kHz. Proto musí být vzorkovací frekvence větší nebo rovna 18kHz (2 x 9kHz). V datasheetu k měřicím modulům jsou jako možné frekvence vzorkování uvedeny vzorkovací frekvence 50000vz/s, 25000vz/s, 16667vz/s a další nižší. Při požadavku na vzorkování minimálně 18kHz byla zvolena vzorkovací frekvence 25000vz/s.

4.1 Blokové schéma měřicí aplikace

Na následujícím obrázku (Obr. 17) je zobrazeno blokové schéma měřicí aplikace.



Obr. 17: Blokové schéma měřicí aplikace

4.2 Popis funkce měřicí aplikace

Vstupní signál z napájecí sítě je přiveden na měřicí moduly, kde je vzorkován vzorkovací frekvencí 25000 vz/s (vysvětlení použité vzorkovací frekvence je uvedeno v kapitole 4). V ideálním případě by pro shodu s normou stačilo navzorkovat 5000 vzorků (10 period 50Hz = 200ms). V napájecí síti může docházet ke kolísání frekvence a při takto zvoleném vzorkování by mohlo docházet k navzorkování necelistvého počtu period, což by vedlo při následném zpracování k chybám. Experimentálně bylo zjištěno, že pro vzorkování signálu o jmenovité frekvenci $50\text{Hz} \pm 10\%$ je dostačující počet vzorků 5900, což je necelých 12 period signálu jmenovité frekvence 50Hz. Tento počet vzorků je dostatečný i pro výběr 10 period při navzorkování signálu v krajních hodnotách frekvence. Takto navzorkovaný signál je dále zpracován a je z něj vybráno přesně 10 period. Poté se provede Fourierova transformace, která převádí signál z časové do frekvenční oblasti.

Vzniklé spektrum musí mít mezi dvěma po sobě jdoucími spektrálními čarami převrácenou hodnotu šířky časového okna ($T_w=200\text{ms}$) – $\frac{1}{0,2} = 5\text{Hz}$. Norma ČSN EN 61000-

4-7 požaduje, aby na vzniklé spektrum bylo provedeno seskupení spektrálních čar (popis je uveden v kapitole 4.2.1). Metoda seskupování zajišťuje, že spektrum prezentované s krokem 50Hz reprezentovalo energii původního spektra s krokem 5Hz. Tato metoda bere v úvahu všechny spektrální čáry nejenom čáry („harmonických“) na celočíselných násobcích základního kmitočtu.

Následuje vyhlazení signálu za použití dolnoproustného filtru prvního řádu s časovou konstantou 1,5s (popis je uveden v kapitole 4.2.2). Agregace se zvoleným agregačním intervalem (popis je uveden v kapitole 4.2.3) a pak se tyto hodnoty uloží do souboru.

4.2.1 Seskupování spektrálních čar

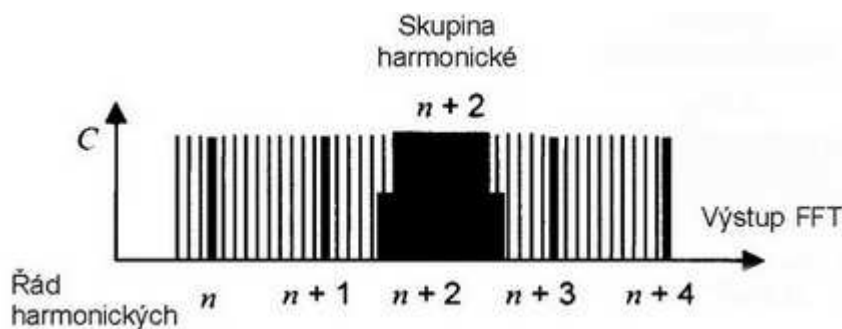
Seskupování spektrální čar se provádí z důvodu redukce dat, které jsou dále zpracovávány. Seskupování se provádí ve dvou frekvenční rozmezí:

- a) V rozmezí od 0Hz do 2kHz
- b) V rozmezí od 2kHz do 9kHz

Ad. a) V rozmezí frekvencí od 0Hz do 2kHz je základní harmonickou 50Hz (frekvence napájecí sítě). Seskupování se provádí sečtením druhých mocnin mezilehlých čar mezi dvěma harmonickými podle rovnice (4.1) a znázorněné na obrázku (Obr. 18). Výsledná skupina harmonické řádu n (odpovídá střední čáře ve šrafované ploše) má velikost $G_{g,n}$ (efektivní hodnota).

$$G_{g,n}^2 = \frac{C_{k-5}^2}{2} + \sum_{i=-4}^4 C_{k+i}^2 + \frac{C_{k+5}^2}{2} \quad (4.1)$$

V této rovnici C_{k+i} je efektivní hodnota spektrální složky odpovídající výstupnímu binu (spektrální čára) FFT a $G_{g,n}$ je výsledná efektivní hodnota skupiny harmonické.



Obr. 18: Znázornění skupin harmonických

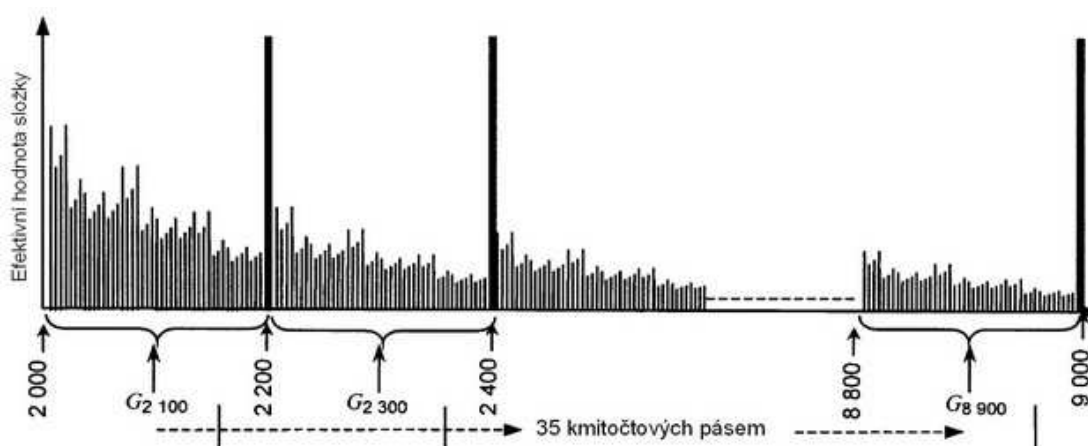
Ad. b) Složky v signálech (proudy a napětí) s kmitočty přesahujícími rozsah kmitočtů harmonických (přibližně 2kHz) avšak pod horním kmitočtem nízkofrekvenčních rozsahu (přibližně do 9kHz) jsou způsobeny různými jevy, například:

- ovládání výkonových napájení pulzně šířkovou modulací na straně sítě (synchronní nebo asynchronní vzhledem ke kmitočtu sítě), jak se používá v systémech kompenzace účinnosti
- emisemi, jako jsou signály v síti
- složkami pocházejícími z výstupu (na straně zátěže) do vstupu (na straně napájení) výkonových měničů
- oscilacemi způsobenými komutačními procesy

Tyto složky mohou být na jednotlivém kmitočtu nebo v širokém pásmu.

Měření těchto složek nevyžaduje tak vysoké rozlišení v kmitočtové oblasti, proto v rozmezí frekvencí od 2kHz do 9kHz je základní krok seskupování fixován na 200Hz a střední kmitočet první možné skupiny je na 2.1kHz. Nejvyšší kmitočet seskupování je stanoven na 8.9kHz (Obr. 19). Seskupování se provádí podle vzorce (4.2). [8]

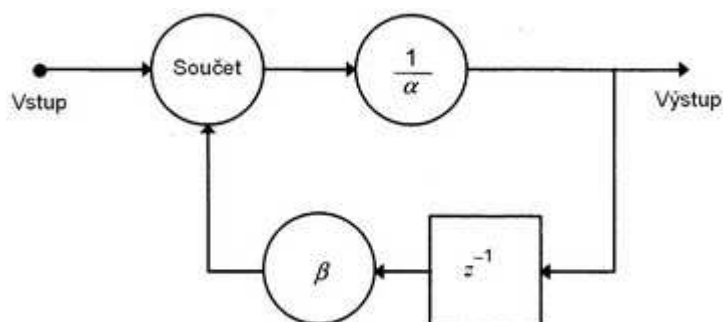
$$G_p = \sqrt{\sum_{f=b-90}^{b+100} C_f^2} \quad (4.2)$$



Obr. 19: Zobrazení kmitočtových pásem v rozsahu od 2kHz do 9kHz

4.2.2 Vyhlazení signálu

Vyhlažování signálu se musí provádět přes efektivní hodnotu $G_{g,n}$ každého řádu harmonické podle rovnice (4.1) s použitím digitálního ekvivalentního filtru dolní propusti prvního řádu s časovou konstantou 1,5s (Obr. 20).



Obr. 20: Znázornění digitálního filtru dolní propusti

Na tomto obrázku je zobrazena realizace digitálního filtru dolní propusti, kde z^{-1} označuje zpoždění časového okna, α a β jsou koeficienty filtru (pro 50Hz a šířku časového okna $T_w=200\text{ms}$ jsou hodnoty koeficientu $\alpha=8,012$ a $\beta=7,012$). [8]

4.2.3 Časová agregace

Norma ČSN EN 61000-4-30 zmiňuje tři agregační intervaly, které jsou zavedeny pro zhuštění naměřených údajů:

- 150 period (3 sekundy)
- 10 minut
- 2 hodiny

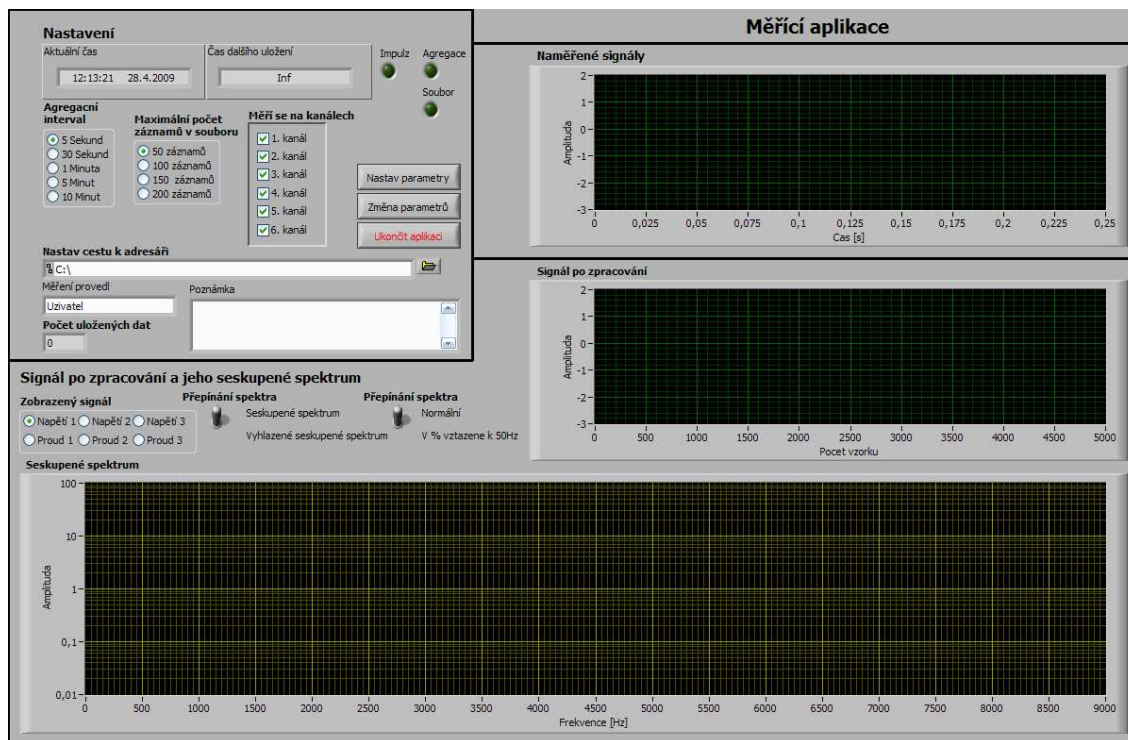
Agregace se provádí s použitím druhé odmocniny aritmetické střední hodnoty druhých mocnin vstupních hodnot (4.3).

$$C_{nVS} = \sqrt{\frac{\sum_{K=1}^M C_{n,K}^2}{M}}, \quad (4.3)$$

kde M je počet jednotlivých vypočtených FFT hodnot harmonických C_n pro celou dobu intervalu T. [12]

4.3 Přední panel měřicí aplikace

Přední panel měřicí aplikace je zobrazen na následujícím obrázku (Obr. 21).

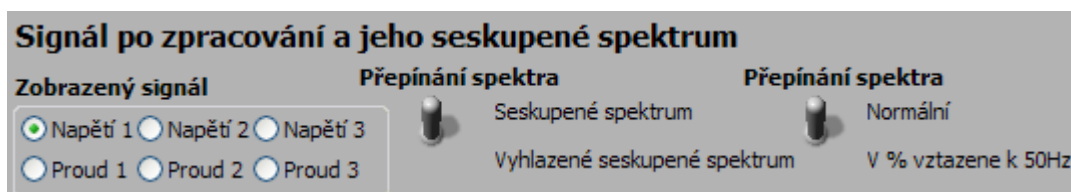


Obr. 21: Přední panel měřicí aplikace

Přední panel je rozdělen do 3 částí:

- nastavení aplikace, ovládací prvky a informace o měření
- graf zobrazující naměřené průběhy
- graf zobrazující zvolený signál po zpracování a graf zobrazující spektrum tohoto signálu

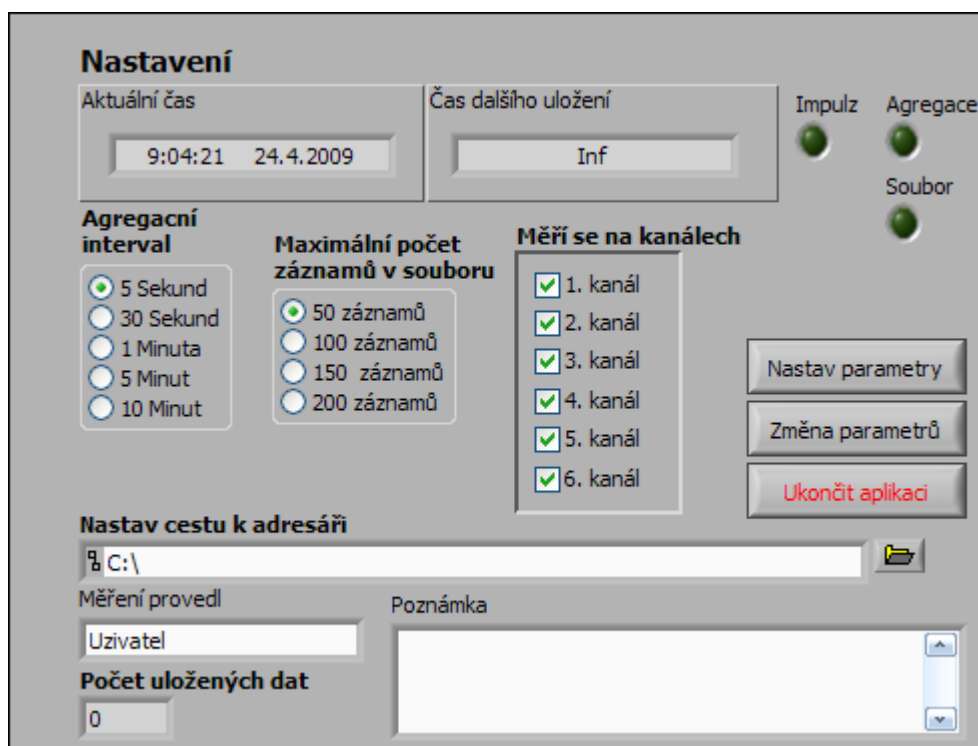
Po spuštění aplikace zobrazuje signály v grafu „Naměřené signály“, které jsou připojené k jednotlivým kanálům měřicích karet. Dále je možné zobrazit jednotlivé signály pomocí nabídky „Zobrazený signál“. Vybraný signál, který už je zpracován (ze signálu je vybráno přesně 10 period) je zobrazován v grafu „Signál po zpracování“. K vybranému signálu se v grafu „Seskupené spektrum“ zobrazuje podle přepínače „Přepínání spektra“ buď aktuální seskupené spektrum nebo vyhlazené seskupené spektrum a pomocí druhého přepínače je možné zobrazit buď normální spektrum nebo spektrum v procentech vztahené k základní harmonické 50Hz.



Obr. 22: Ovládací prvky pro zobrazení jednotlivých signálů

Před začátkem zpracování signálů je nutné vybrat, na kterých kanálech měřicích karet se bude provádět měření. K tomuto slouží nabídka „Měří se na kanálech“. Toto nastavení slouží také pro zamezení výběru kanálů pomocí nabídky „Zobrazený signál“, na kterých se aktuálně neprovádí měření. Toto se provede až po stisku tlačítka „Nastav parametry“. Kanály 1 – 3 odpovídají třem napěťovým signálům (1. až 3. fáze) a kanály 4 – 6 odpovídají třem proudovým signálům (1. až 3. fáze).

Poté je možné změnit pomocí pole „Nastav cestu k adresáři“ cestu, kam se budou ukládat soubory s naměřenými daty. Jako výchozí je nastaven kořen disku C:. Do pole „Měření provedl“ je možné zadat kdo měření provedl a do pole „Poznámka“ se může napsat k měření poznámka. Dále je možné zvolit pomocí nabídky „Agregační interval“ interval agregace a pomocí nabídky „Maximální počet záznamů v souboru“ zvolit kolik dat má být uloženo do jednoho souboru.



Obr. 23: Ovládání měřicí aplikace

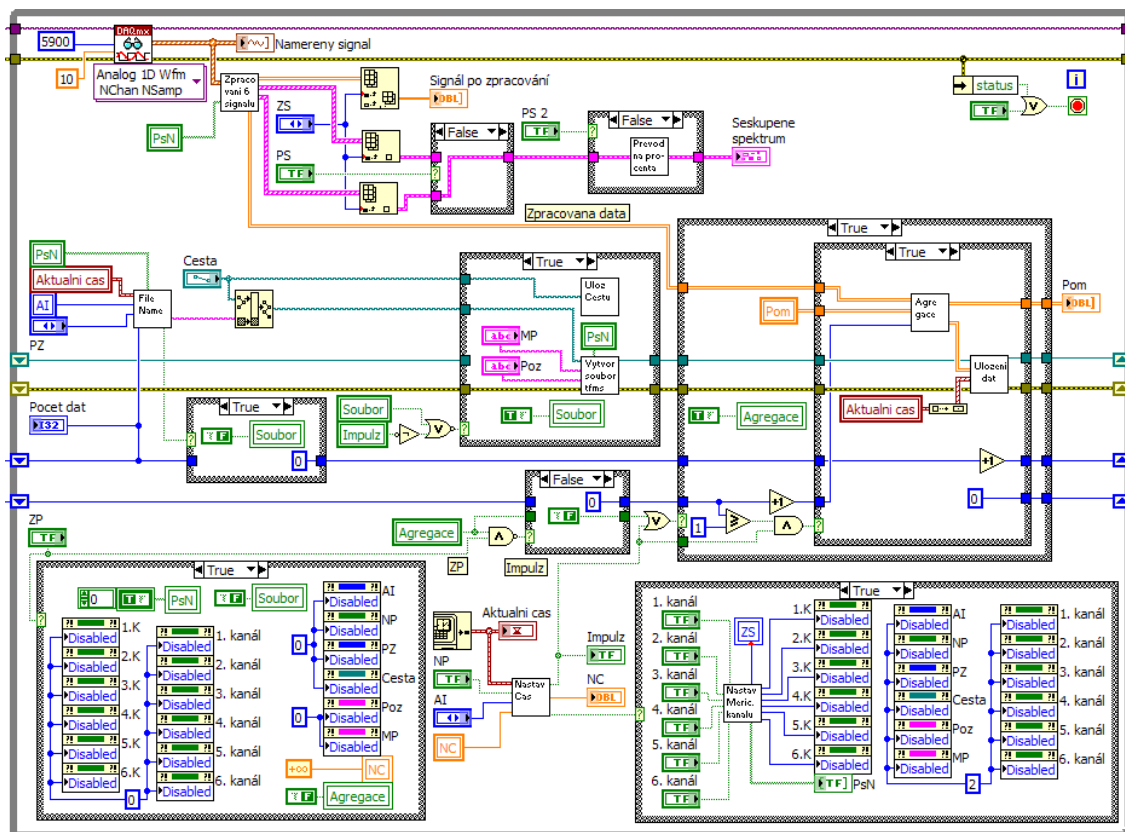
Po nastavení těchto parametrů je po stisku tlačítka „Nastav parametry“ vypočten čas, kdy se provede zahájení agregace. Čas je vypočten jako nejbližší vyšší násobek agregčního intervalu, např. když je zvolen agregční interval 30 sekund dojde k zahájení agregace buď v celou minutu nebo v polovině minuty. Tento čas je signalizován v poli „Čas dalšího uložení“. Pokud je zobrazeno „Inf“, tak to znamená, že zatím nebyl žádný čas nastaven. Po stisku tohoto tlačítka dojde k znepřístupnění voleb – „Agregční interval“, „Maximální počet záznamů v souboru“, „Měří se na kanálech“, „Nastav cestu k adresáři“, „Měření provedl“ a „Poznámka“. Toto znepřístupnění je z důvodu, aby v průběhu měření nedošlo ke změně těchto parametrů. Jakmile aktuální čas je roven času nastavenému dojde k uložení do souboru (v případě 1. dosažení se pouze spustí agregace). Každé dosažení času je signalizováno rozsvícením indikátoru „Impulz“. Po 1. dosažení času jsou rozsvíceny indikátory „Agregace“ a „Soubor“. Indikátor „Agregace“ signalizuje, že se provádí na naměřených datech časová agregace. Indikátor „Soubor“ signalizuje vytvoření souboru. Počet aktuálně uložených dat v souboru je indikován v poli „Počet uložených dat“.

V případě, že je potřeba změnit některý z parametrů stiskne se tlačítko „Změna parametrů“. Po stisku tlačítka se zastaví agregace a indikátory jsou nastaveny do výchozích hodnot. Po požadované změně nastavení je možné agregaci znovu spustit stiskem tlačítka „Nastav parametry“.

Pro ukončení aplikace slouží tlačítko „Ukončit aplikaci“.

4.4 Popis kódu měřicí aplikace

Kód měřicí aplikace je zobrazen na následujícím obrázku (Obr. 24).



Obr. 24: Kód měřicí aplikace

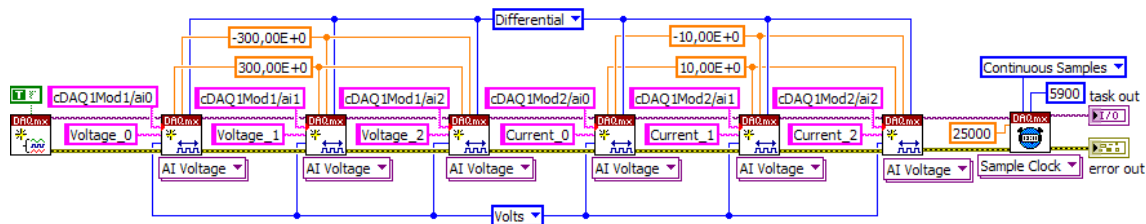
Princip činnosti:

- Po spuštění aplikace jsou nastaveny kanály na kartě a ovládací prvky předního panelu jsou nastaveny do výchozích hodnot
- Vyčtou se data z měřicích karet a zobrazí se v grafu. Proveďte se jejich zpracování a podle nastavení se zobrazí daný signál a jeho spektrum. Naměřené signály a vybraný signál jsou zobrazeny po celý dobu spuštění aplikace
- Po stisku tlačítka „Nastav parametry“ (NP) se nastaví čas spuštění agregace, znepřístupní se nastavení měření, nastaví se zpřístupnění výběru kanálů pouze na ty, na kterých se provádí měření
- Jakmile aktuální čas dosáhne času nastaveného, tak se spustí se agregace, vytvoří se soubor a uloží se do něj základní informace. Cesta k souboru se uloží do pomocného souboru a nastaví se čas 1. uložení do souboru

- Po dosažení dalšího nastaveného času se agregovaná data uloží do souboru a to se opakuje dokud počet záznamů v souboru nedosáhne počtu, který je nastaven
- Když počet dat dosáhne nastaveného limitu, tak se vytvoří nový soubor, do kterého se uloží základní informace a ukládání zpracovaných dat pokračuje
- Ukládání zpracovaných dat probíhá dokud není aplikace ukončena nebo není stisknuto tlačítko „Změna parametrů“ (ZP). Poté dojde k zastavení měření, indikátory se nastaví do výchozích hodnot a zpřístupní se ovládání

4.4.1 Nastavení kanálů na měřicích kartách

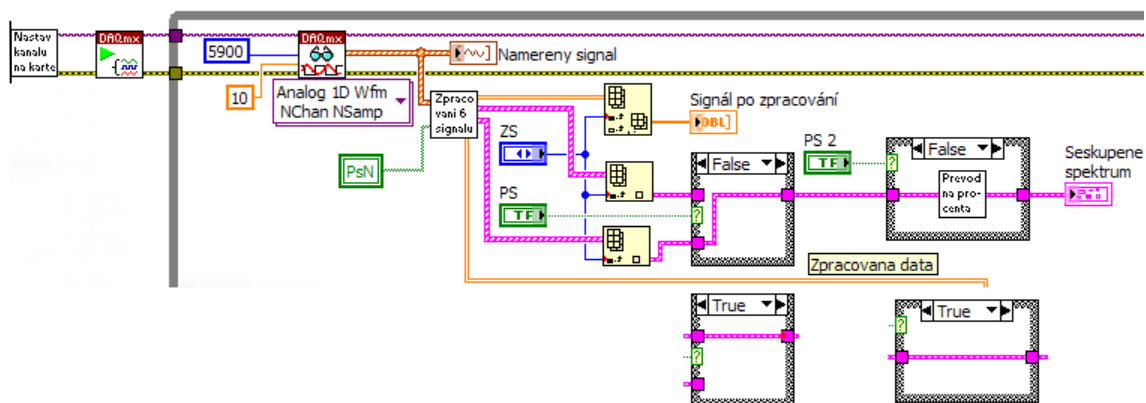
K nastavení kanálů na měřicích kartách je vytvořeno subVI (Obr. 25). Jako první se vytvoří úloha. Následuje nastavení jednotlivých měřicích kanálů. První 3 kanály jsou kanály na měřicím modulu NI 9225. Na této kartě je měřeno napětí na fázích. Je nastaveno diferenční měření z rozsahem $\pm 300\text{V}$. Zbylé 3 kanály jsou kanály na měřicím modulu NI 9239. Na této kartě je měřeno napětí odpovídající proudu na fázích. Proud je měřen pomocí kleští MN71. Je nastaveno diferenční měření z rozsahem $\pm 10\text{V}$. Jako poslední je nastaveno kontinuální měření s vzorkováním 25000 vz/s a vyčítá se 5900 vzorků pro zpracování.



Obr. 25: Kód nastavení kanálů na měřicích kartách

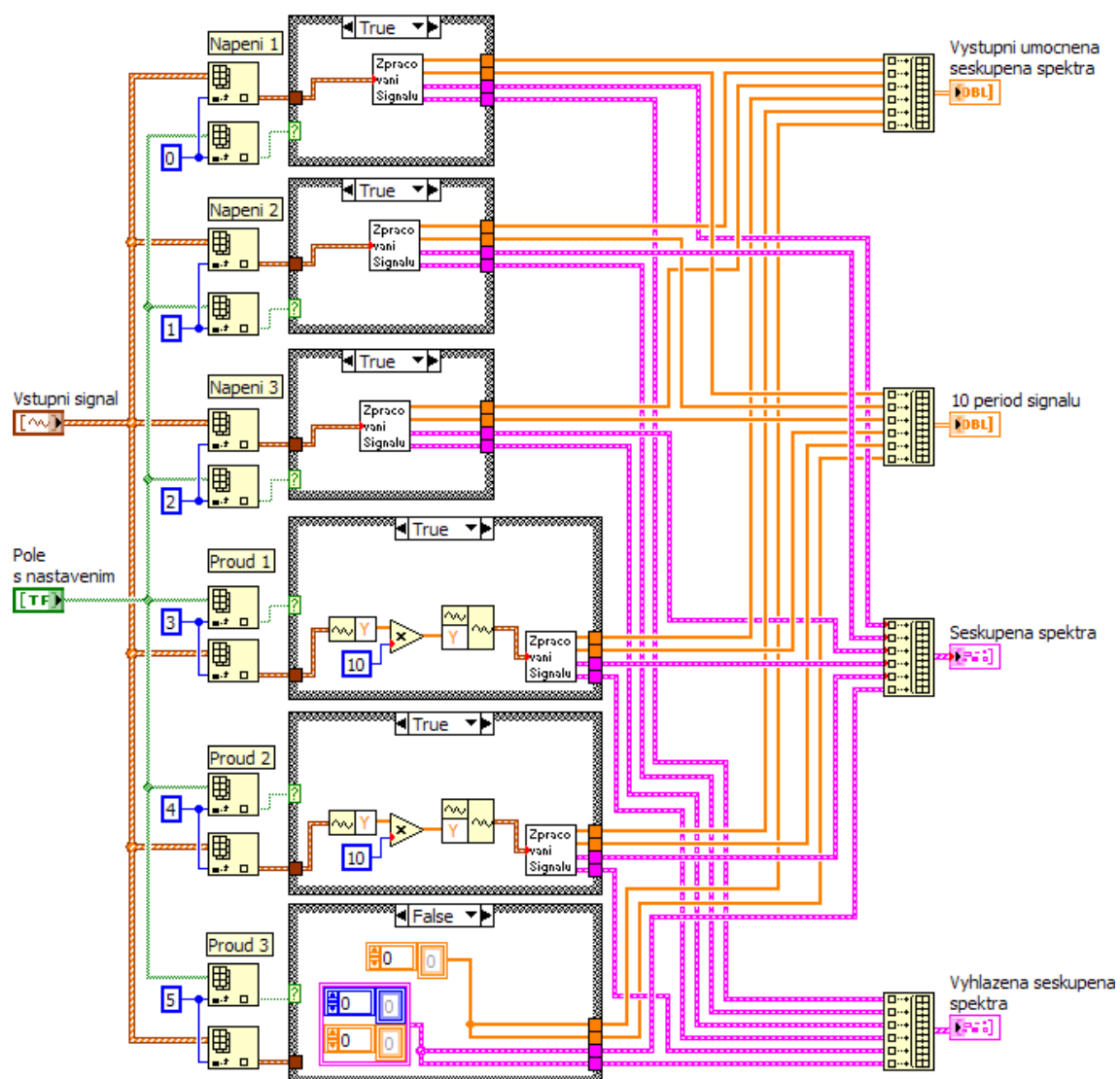
4.4.2 Načtení dat, jejich zpracování a zobrazení v grafech

Po nastavení kanálů na měřicích kartách se spustí měření a začnou se vyčítat data z měřicích karet (Obr. 26). Naměřené signály jsou zobrazeny v grafu „Naměřeny signál“. Tyto signály jsou dále zpracovány a podle výběru „Zvolený signál“ (ZS) je zvolený signál zobrazen v grafu „Signál po zpracování“ a dále podle výběru „Přepínání spektra“ (PS) je zobrazeno jeho seskupené spektrum nebo vyhlazené seskupené spektrum v grafu „Seskupene spektrum“. Volbou druhého přepínače „Přepínání spektra“ (PS 2) je možno v tomto grafu zobrazit buď normální spektrum nebo spektra v procentech vztažené k základní harmonické 50Hz.



Obr. 26: Kód načtení dat, jejich zpracování a zobrazení v grafech

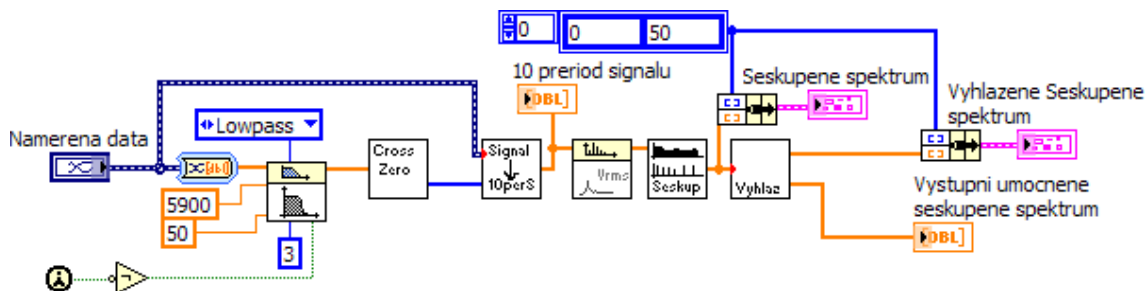
Pro zpracování naměřených signálů je vytvořeno subVI (Obr. 27). Protože je nutné každý signál zpracovat samostatně toto subVI rozdělí vstupní signály a po zpracování výsledky, z důvodu značného počtu vodičů a snadnější práci, opětovně spojí. Pokud je v hlavní aplikaci nastaveno (Pole s nastavením), že na některém kanálu není prováděno měření jsou místo zpracování toho signálu posílány konstanty (je to patrné u Proudů 3).



Obr. 27: Kód zpracování 6 signálů

4.4.3 Zpracování signálu

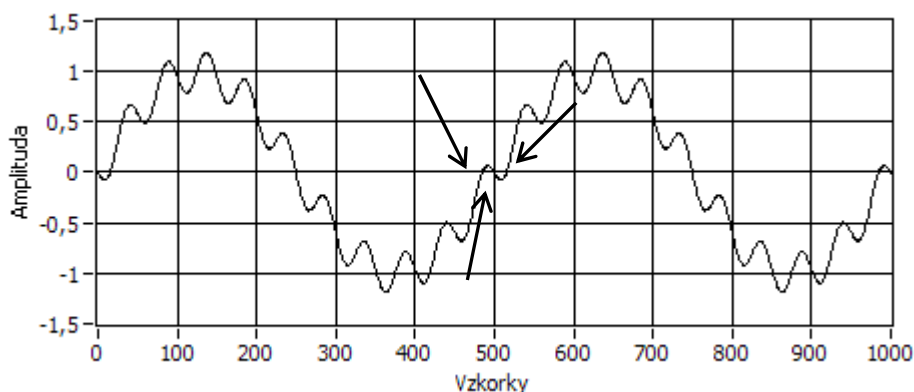
Signály z jednotlivých kanálů se musí zpracovávat zvlášť, ale postup zpracování je u všech 6 kanálů stejný (Obr. 28).



Obr. 28: Kód zpracování signálu

Z naměřeného signálu se nejprve musí odfiltrovat pomocí filtru dolní propusti vyšší složky, které by mohly zkreslit výsledek dalšího kroku při zpracování. K filtrování vyšších složek byl použit filtr dolní propusti 3. řádu s frekvencí řezu 50 Hz.

Dalším krokem je zjištění míst, kde měřený signál projde nulou. Reálný signál může vypadat například jako na následujícím grafu (Obr. 29). Jedná se o signál s jmenovitou frekvencí 50Hz, na kterém je namodulována desátá harmonická (500Hz). Při analyzování, kde tento signál prochází nulou zjistíme, že signál protne nulu v 3 místech, což je pro další zpracování nepoužitelné. Právě proto je před tímto krokem použit filtr dolní propusti, který signál vyhladí a průchod nulou bude jen v jednom místě.

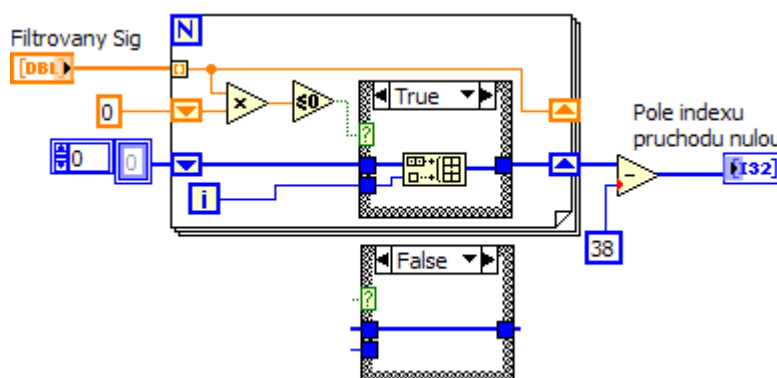


Obr. 29: Graf průchodu nulou u reálného signálu

Nalezené průchody nulou se dále použijí k vybrání přesně 10 period z naměřeného signálu. Na takto upravený signál se aplikuje funkce zjišťující amplitudové spektrum. Získané spektrum je seskupeno a nakonec je na spektrum aplikováno vyhlazení, které slouží ke snížení vlivu rychlých dynamických jevů.

4.4.3.1 Zjištění průchodů nulou

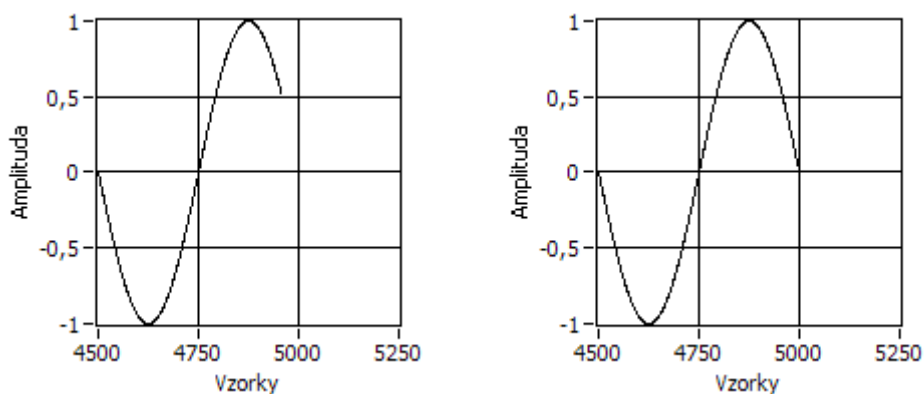
Při určení, v kterých místech filtrovaný signál prochází nulou, se porovnávají po sobě jdoucí prvky. Vynásobí se prvek s prvkem předchozím a pokud je výsledek násobení menší nebo roven 0, tak to znamená, že signál prošel nulou. Index tohoto prvku se uloží do pole. Protože za filtrem je signál proti vstupnímu signálu zpožděn musí se ještě od každého zjištěného průchodu nulou odečíst hodnota tohoto zpoždění.



Obr. 30: Kód průchodu nulou

4.4.3.2 Oříznutí signálu na 10 period

Před samotným oříznutím naměřeného signálu je nutné udělat několik uprav zjištěných indexu průchodu nulou. Nejprve je nutné odstranit první dva prvky. Poté se zjistí průměrná vzdálenost mezi zjištěnými průchody nulou. Od této hodnoty se odečte hodnota prvního průchodu nulou a zjišťuje se, zda je tento rozdíl větší než průměrná vzdálenost mezi indexy. Pokud je menší, tak se rozdíl mezi průměrnou vzdáleností mezi indexy průchodu nulou a hodnotou prvního průchodu přičte k hodnotě 20 průchodu nulou. Pokud je rozdíl větší než průměr vzdálenosti mezi indexy průchodu nulou, tak se k 20 průchodu nulou přičte hodnota průměrné vzdálenosti mezi indexy průchodu nulou. Následuje jen oříznutí naměřeného signálu pomocí upravených indexů průchodu nulou.

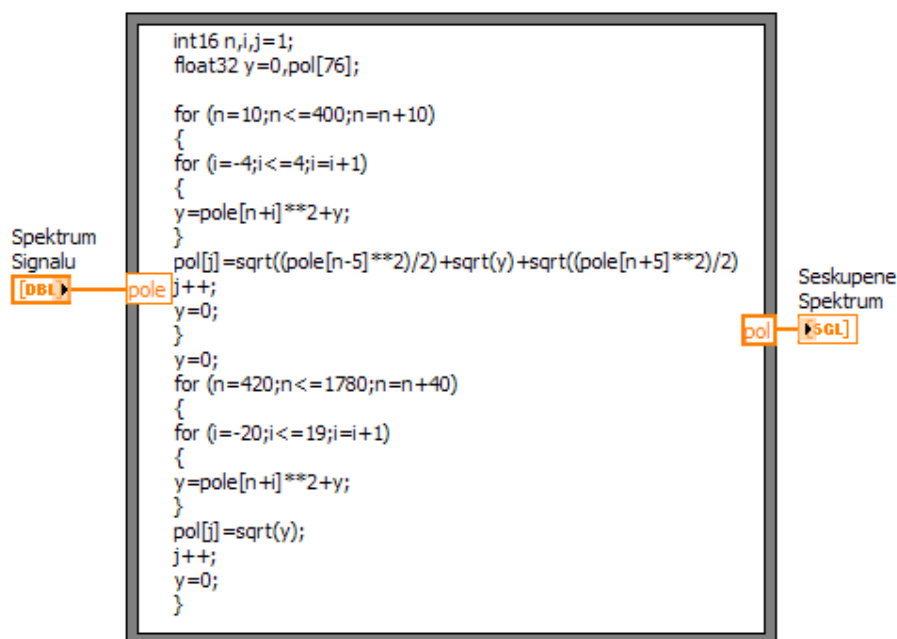


Obr. 33: Graf zobrazující oříznutý signál na 10 period bez korekce 20 průchodu nulou a s korekci

4.4.3.3 Seskupení spektra

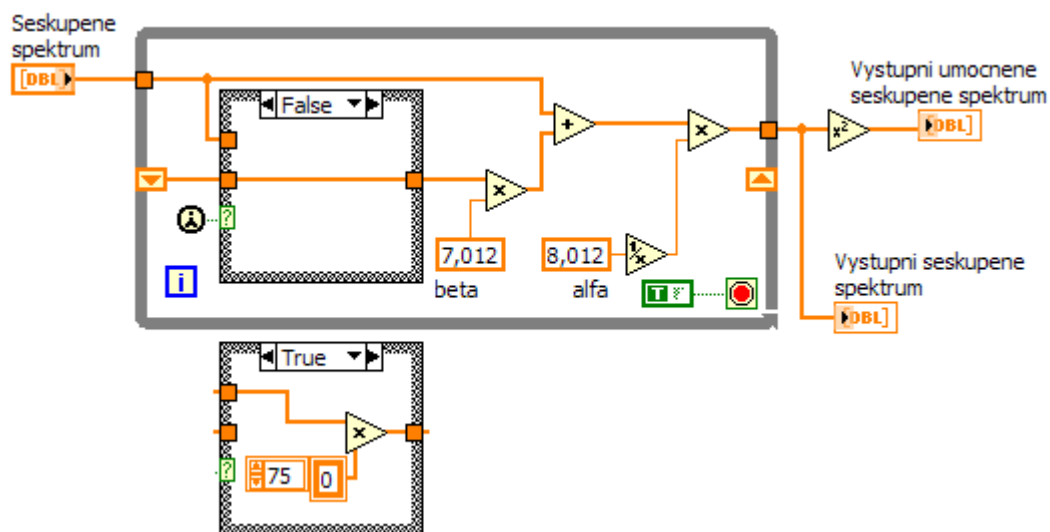
Na získané amplitudové spektrum (krok 5Hz ve frekvenční oblasti) se aplikuje algoritmus seskupování spektrálních čar. V kapitole 4.2.1 je popsáno seskupování spektra podle normy ČSN EN 61000-4-7 ed. 2.

Na spektrum naměřeného signálu je aplikován algoritmus seskupování dle rovnice (4.1) a (4.2) implementovaný v LabVIEW (Obr. 34). Spektrum signálu je seskupeno ve dvou frekvenčních pásmech. První pásmo je od 25Hz do 2kHz z hlavní harmonickou 50Hz. Druhé pásmo je od 2kHz do 9kHz s hlavní harmonickou 200Hz.



4.4.3.4 Vyhlazení signálu

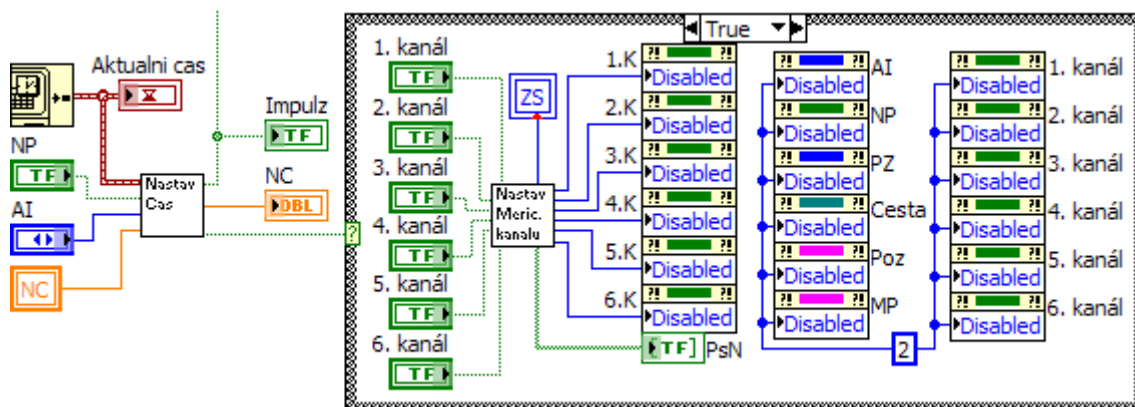
Vyhlazení signálu, které se provádí na seskupené frekvenční spektrum, je popsáno v kapitole 4.2.2. Na výstupu ze subVI, které vyhlazuje seskupená spektra, jsou dva výstupy. První je vyhlazené seskupené spektrum, které je možné zobrazit na předním panelu (Vystupni seskupene spektrum) a druhé umocněné vyhlazené seskupené spektrum (Vystupni umocnene seskupene spektrum), které se používá k následnému zpracování – časová agregace a uložení do souboru.



Obr. 35: Kód vyhlazení signálu

4.4.4 Spuštění agregace

Po stisku tlačítka „Nastav Parametry“ (NP) se nastaví čas spuštění agregace, znepřístupní se ovládání a volba kanálů, na kterých se neprovádí měření (Obr. 36).

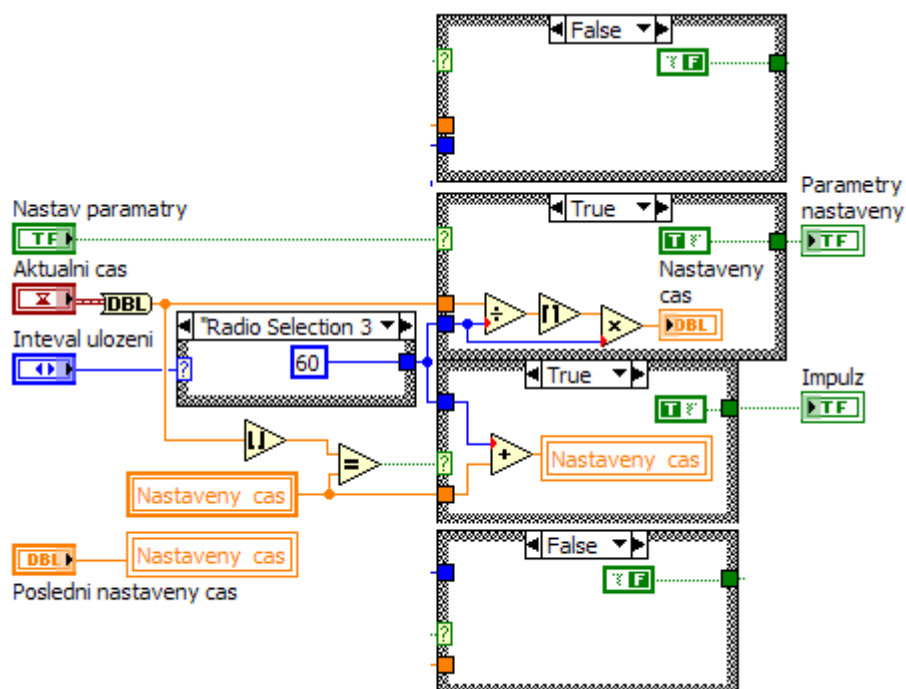


Obr. 36: Kód spuštění agregace

Znepřístupnění ovládání znamená, že ovládací prvek zašedne a není umožněna změna jeho hodnoty. Znepřístupnění se provede zapsáním hodnoty „2“ do vlastnosti objektu „Disabled“. Objekt se opět zpřístupní zapsáním hodnoty „0“ do této vlastnosti.

Čas spuštění agregace se nastaví po stisku tlačítka „Nastav parametry“. Čas spuštění agregace se vypočte tak, že aktuální čas se podělí nastaveným agregačním intervalem, výsledek se zaokrouhlí nahoru a opět se vynásobí zvoleným intervalem. Vypočte se nejbližší vyšší násobek zvoleného intervalu. Jakmile se nastaví čas, vyšle se do hlavní aplikace informace, že parametry jsou nastaveny.

Pokud už byl čas předtím nastaven, toto subVI porovnává poslední nastavený čas s časem aktuálním. Pokud se tyto časy rovnají vyšle se o tom do hlavní aplikace informace.



Obr. 37: Kód nastavení času

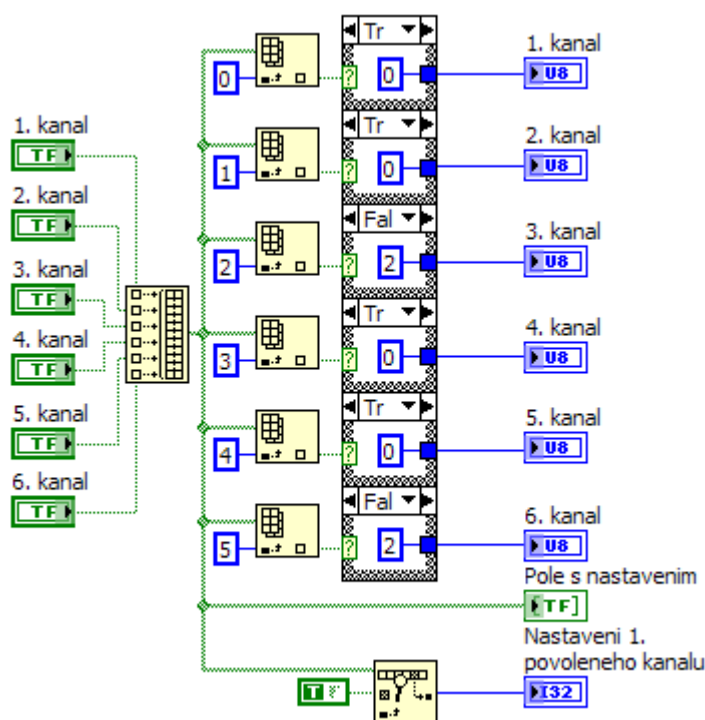
Jakmile subVI „Nastav cas“ nastaví čas, tak v hlavní aplikaci jsou znepřístupněny prvky:

- Agregační interval (AI)
- Maximální počet záznamů v souboru (PZ)
- Nastav cestu k adresáři (Cesta)
- Měření provedl (MP)
- Poznámka (Poz)
- Tlačítko „Nastav parametry“ (NP)
- Měří se na kanálech (1.kanál až 6.kanál)

Aplikace umožňuje zvolit, na kterých kanálech se provádí měření. Tato funkce je umožněna, aby se zbytečně neměřily, nezpracovávaly a do souboru neukládaly data z kanálů, ke kterým není nic připojeno. Toto nastavení se provede až obsluha stiskne tlačítko „Nastav parametry“. Nastavení povolení kanálu až po této akci bylo zvoleno z důvodu, aby bylo možné před započítím měření přepínat mezi všemi kanály.

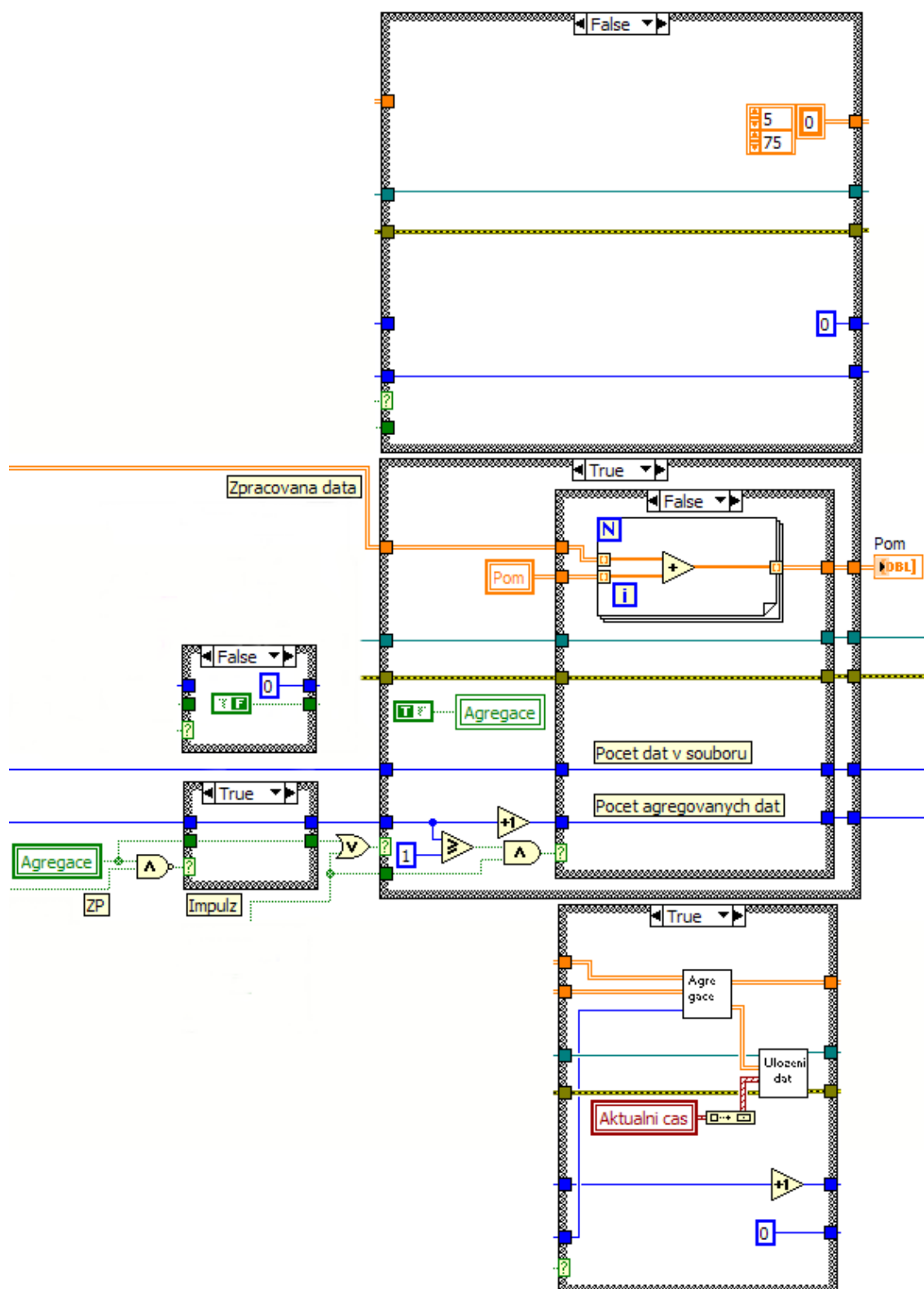
Povolení respektive znepřístupnění jednotlivých kanálů se provede tak, že se vyčte z předního panelu nastavení jednotlivých kanálů (1. kanál až 6. kanál) a poté se povolí nebo zakáže volba a zpracování tohoto kanálu. Toto nastavení se uloží do pole a zjistí se index 1. povoleného kanálu.

Na následujícím obrázku (Obr. 38) je zobrazena situace, kdy se provádí měření na 1. a 2. kanálu a 4. a 5. kanálu, což znamená, že se měří napětí a proud na 1. a 2. fázi.



Obr. 38: Kód nastavení povolení kanálů

Agregace dat se spustí, když se čas nastavený rovná s časem aktuálním. Zpracovaná data se sčítají dokud není dosažen další nastavený čas (Obr. 39). Po dosažení dalšího nastaveného času se z dat vypočte průměr a data se odmocní (Obr. 40). Poté se data s časovou značnou uloží do souboru. Toto se opakuje dokud se nestiskne tlačítko „Změna parametrů“ (ZP) nebo se neukončí aplikace.

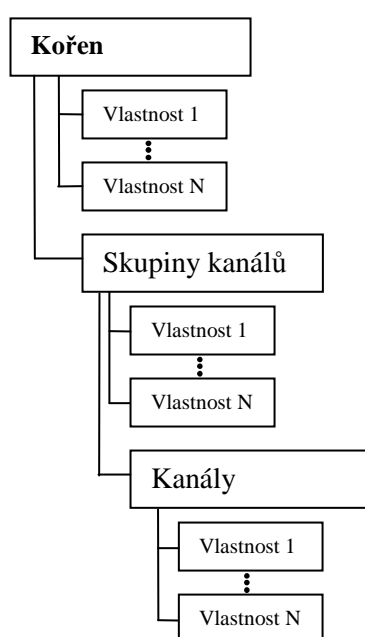


Obr. 39: Kód agregace

4.4.5.1 Formát TDM

Zpracovaná data jsou ukládána do souboru typu TDM. TDM (Technical Data Management) formát souborů je strukturovaný, umožňuje snadné hledání a má strukturu obdobnou jako xml soubory. Tdm formát je určen pro uchovávání a spravování všech důležitých informací kolem měření.

Model dat v TDM formátu má 3 úroňovou strukturu – Kořen, Skupiny kanálů a Kanály (Obr. 42). Každý soubor má jeden objekt typu Kořen a libovolný počet objektů typu Skupiny kanálů a Kanály.



Obr. 42: Struktura Tdm souboru

Tdm datový formát nabízí několik unikátních výhod jako je schopnost přizpůsobit se požadavkům různých projektů (různý počet měřících skupin a kanálů) a připojit popis ke kanálům. Snadno se v nich vyhledává a jsou přenositelné mezi aplikacemi (např. po nainstalování pluginu lze soubor zpracovávat i v programu Excel od společnosti Microsoft).

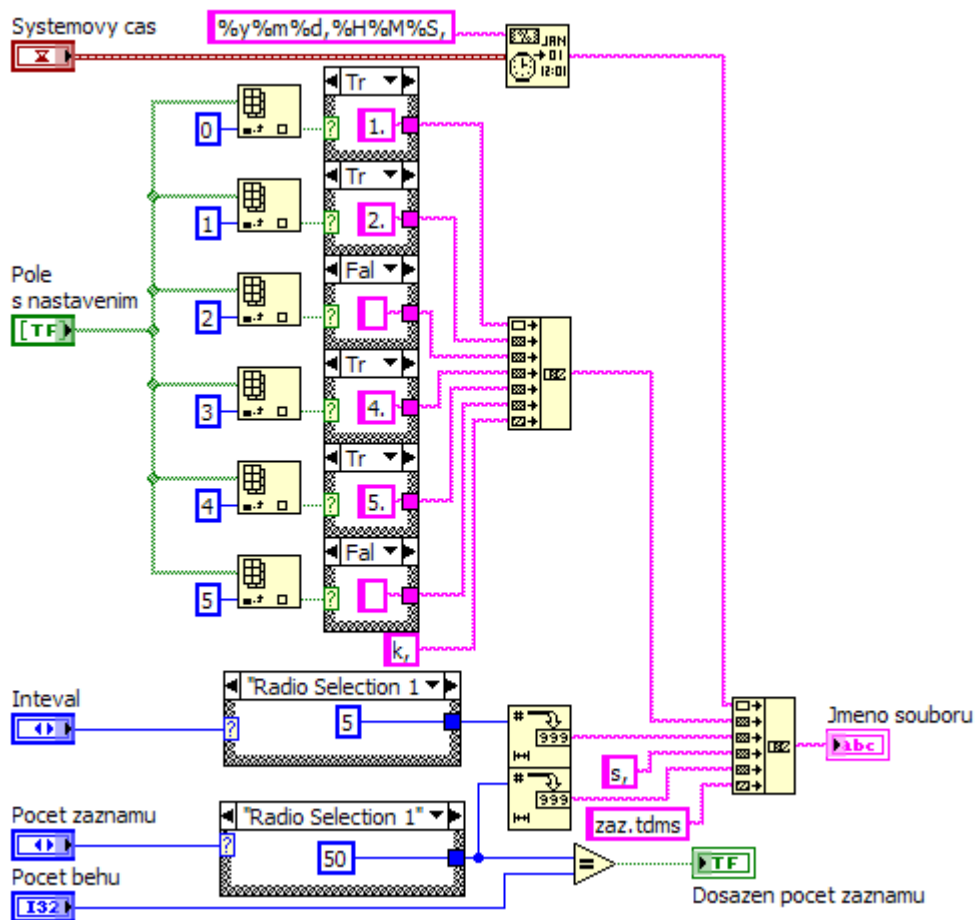
4.4.5.2 Vytvoření jména souboru

Jméno souboru vychází ze standartu IEEE Std. C37.23-2007 a skládá se s několika částí. První část je datum, kdy byl soubor vytvořen. Formát data je: rok, měsíc a den. Následuje čas vytvoření souboru. Formát času je: hodina, minuta a sekunda. Poté je uvedeno, na kterých kanálech se provedlo měření. Dále je interval agregace v sekundách a poslední je informace o maximálním počtu záznamů v souboru.

Jméno souboru může vypadat například takto: **090414,110500,1.2.3.4.5.6.k,300s,200zaz.tdms**

Z uvedeného jména můžeme vyčíst, že soubor byl vytvořen 14.4.2009 v 11 hodin a 5 minut, bylo měřeno na všech kanálech s intervalem agregace 300s (5minut) a může být v něm uloženo až 200 záznamů.

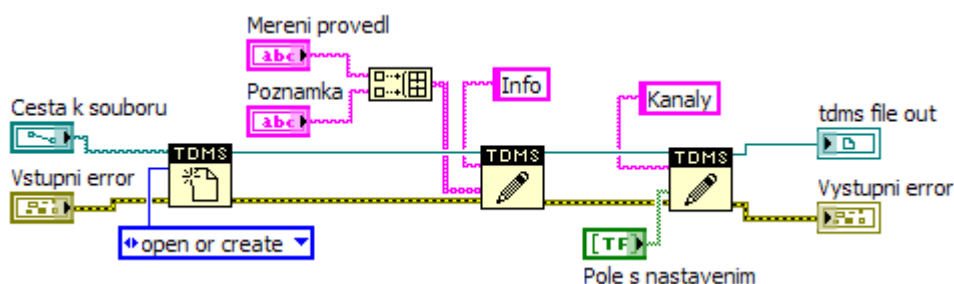
V tomto subVI se také porovnává aktuální počet záznamů s nastaveným maximálním počtem záznamů, pokud se rovnají vyšle se o tom informace do hlavní aplikace.



Obr. 43: Kód vytvoření jména souboru

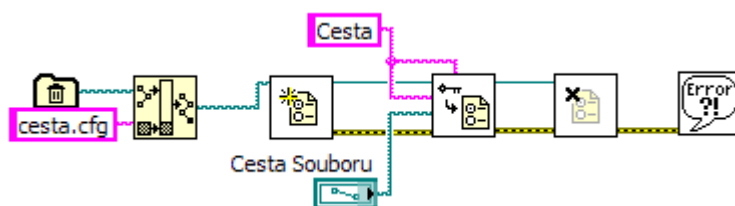
4.4.5.3 Vytvoření souboru a pomocného souboru obsahujícího cestu

Po vytvoření jména souboru se do zvoleného adresáře vytvoří soubor s tímto názvem. Do tohoto souboru jsou uloženy informace kdo měření provedl z pole „Měření provedl“ a poznámka z pole „Poznámka“. Dále je do souboru uloženo nastavení, na kterých kanálech se provedlo měření.



Obr. 44: Kód vytvoření souboru

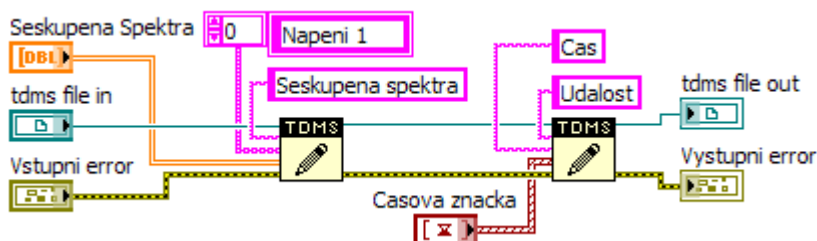
Také se vytvoří pomocný soubor obsahující cestu kde byl tento soubor vytvořen. Tento pomocný soubor slouží k snazšímu načtení uložených souborů aplikací zpracovávající naměřená data (nemusí se zadávat cesta k souborům ručně; pokud byly před spuštěním aplikace zpracovávající naměřená data nějaká data už uložena je zpřístupněno tlačítko, které využije tento soubor k načtení dat).



Obr. 45: Kód vytvoření pomocného souboru

4.4.5.4 Uložení dat do souboru

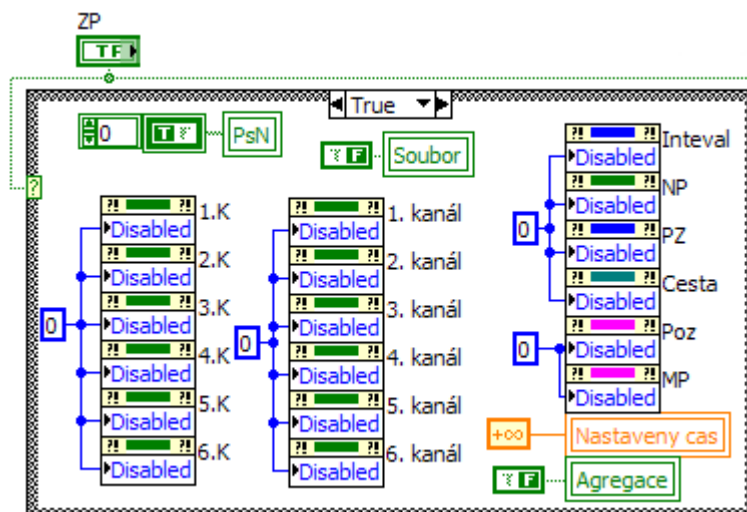
Do vytvořeného tdm souboru se ukládají agregovaná data a odpovídající časová značka.



Obr. 46: Kód uložení dat

4.4.6 Změna parametrů

Po stisku tlačítka „Změna parametrů“ (ZP) se zastaví zpracovávání dat, zpřístupní se všechny nastavovací prvky a vynuluje se čas dalšího uložení do souboru.



Obr. 47: Kód změny parametrů

5. Návrh a implementace aplikace pro zpracování naměřených dat

Aplikace zpracovávající naměřená data byla navrhována v grafickém vývojovém prostředí LabVIEW 8.5 a 8.6.

5.1 Popis funkce aplikace pro zpracování naměřených dat

Po spuštění aplikace zjistí, zda se v pomocném adresáři Temp operačního systému Windows nachází soubor, který vytvořila měřicí aplikace. Tento soubor obsahuje cestu k adresáři, kam byl uložen poslední soubor obsahující naměřená data. Pokud tento soubor aplikace najde zpřístupní na předním panelu tlačítko „Načti poslední použitý adresář měřicí aplikace“. Pokud soubor aplikace nenajde, musí se cesta k souborům z naměřenými daty zadat pomocí dialogového okna. Toto okno se vyvolá po stisku tlačítka „Načti adresář“.

Po načtení souborů, které se nachází v zadaném adresáři, se vytvoří seznam. Tento seznam se načte do nabídky „Uložené soubory“, vybere se první soubor a do indikátorů se zobrazí informace o měření. Mezi soubory lze pomocí této nabídky libovolně přecházet.

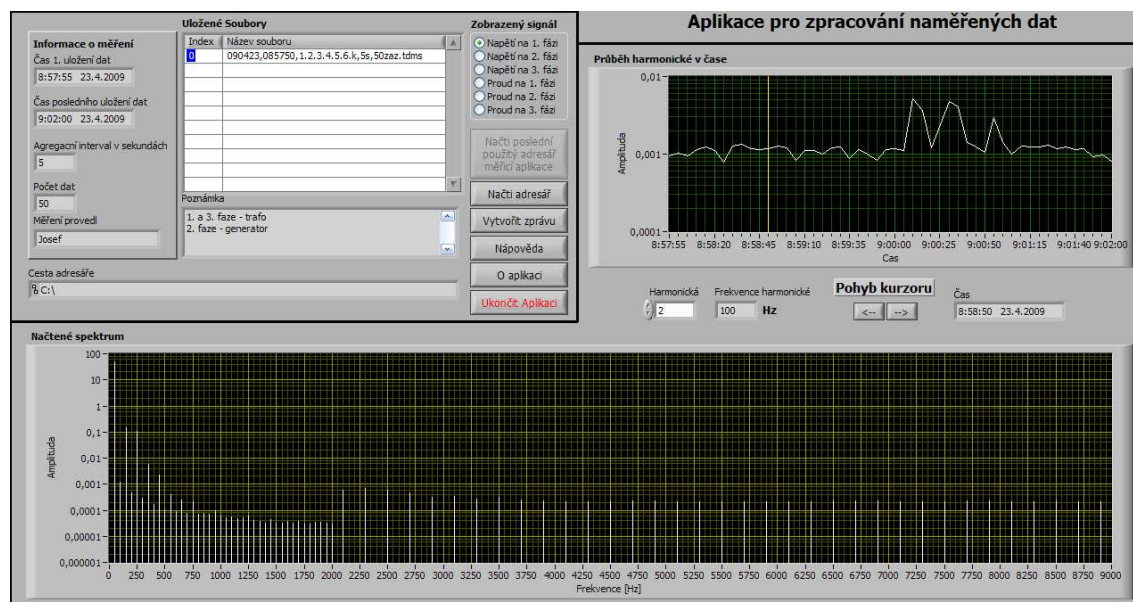
Dále je pomocí nabídky „Zobrazený signál“ umožněno přecházet mezi daty naměřenými na jednotlivých fázích.

Po zvolení signálu (po načtení souboru se vybere první signál, na kterém se měřilo) se vykreslí do grafu „Průběh harmonické v čase“ průběh zvolené harmonické (po spuštění je nastavena 1. harmonická = 50Hz) v rámci času. Harmonickou je možné změnit pomocí kontrolu „Harmonická“. V grafu je zobrazen kurzor, kterým lze pohybovat pomocí tlačítek. Čas odpovídající pozici kurzoru je zobrazen v indikátoru „Čas“ a spektrum naměřeného signálu uložené v tomto čase je zobrazeno v grafu „Načtené spektrum“

Aplikace dále umožňuje vytvořit zprávu obsahující aktuálně zobrazené data a vyvolat okno s nápovědou.

5.2 Přední panel aplikace zpracovávající naměřená data

Přední panel aplikace zpracovávající naměřená data je zobrazen na následujícím obrázku (Obr. 48).



Obr. 48: Přední panel aplikace zpracovávající naměřená data

Přední panel je rozdělen do 2 částí, které obsahují:

- informace o souboru, výběr souboru, volbu signálu a ovládání
- graf zobrazující průběh harmonické v čase, volbu harmonické, ovládání pozice kurzoru a graf zobrazující spektrum odpovídající pozici kurzoru

V první část předního panelu (Obr. 49) se nacházejí tlačítka pro načtení adresáře s uloženými daty „Načti poslední použitý adresář měřicí aplikace“ a „Načti adresář“. Tlačítko pro vytvoření zprávy obsahující aktuálně zobrazená data „Vytvořit zprávu“. Tlačítko pro vyvolání nápovědy „Nápověda“, tlačítko pro zobrazení informací o aplikaci „O aplikaci“ a tlačítko pro ukončení aplikace „Ukončit aplikaci“. Je zde zobrazen seznam souborů nacházejících se v zadaném adresáři „Uložené soubory“. Nabídka pro změnu signálu „Zobrazovaný signál“. Dále jsou zobrazeny informace o začátku „Čas 1. uložení dat“ a konci měření „Čas posledního uložení dat“, agregační interval (je to doba, po kterou probíhala agregace) „Agregační interval v sekundách“, počet dat uložených v souboru „Počet dat“, kdo měření provedl „Měření provedl“ a poznámku k měření „Poznámka“. V této části je i indikátor zobrazující pracovní adresář „Cesta adresáře“.

Informace o měření

Čas 1. uložení dat
8:57:55 23.4.2009

Čas posledního uložení dat
9:02:00 23.4.2009

Agregační interval v sekundách
5

Počet dat
50

Měření provedl
Josef

Cesta adresáře
C:\

Uložené Soubory

Index	Název souboru
0	090423,085750,1.2.3.4.5.6.k,5s,50zaz.tdms

Poznámka
1. a 3. faze - trafo
2. faze - generator

Zobrazený signál

- ☒ Napětí na 1. fázi
- ☐ Napětí na 2. fázi
- ☐ Napětí na 3. fázi
- ☐ Proud na 1. fázi
- ☐ Proud na 2. fázi
- ☐ Proud na 3. fázi

Načti poslední použitý adresář měřicí aplikace

Načti adresář

Vytvořit zprávu

Nápověda

O aplikaci

Ukončit Aplikaci

Obr. 49: Ovládání aplikace zobrazující naměřená data

V druhé části předního panelu je zobrazen graf průběhu zvolené harmonické na vybraném kanálu „Průběh harmonické v čase“. Pole pro změnu harmonické „Harmonická“ a indikátor zobrazující její ekvivalent v hercích „Frekvence harmonické“. Dále jsou zde tlačítka pro pohyb kurzoru v grafu „Průběh harmonické v čase“ a indikátor zobrazující čas polohy kurzoru „Čas“ (Obr. 50).

Harmonická Frekvence harmonické Hz

Pohyb kurzoru <-- -->

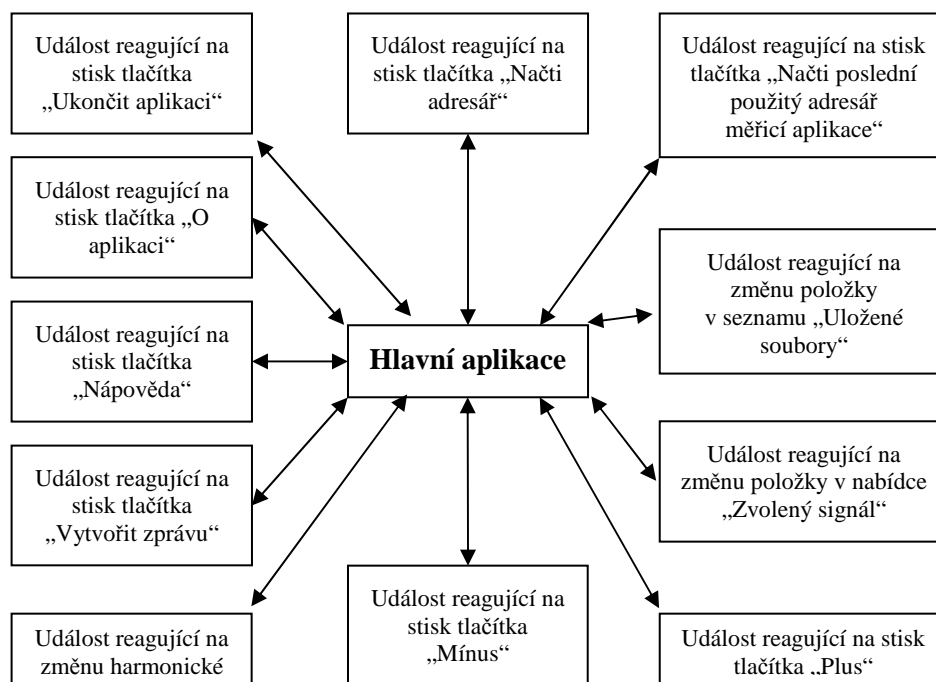
Čas

Obr. 50: Volba harmonické a ovládání pozice kurzoru

Změnou pozice kurzoru v grafu „Průběh harmonické v čase“ se překreslí i graf zobrazující spektrum signálu „Načtené spektrum“. Zobrazené spektrum je agregované spektrum zvoleného signálu za interval „Agregační interval v sekundách“ a uložené v čase, který odpovídá pozici kurzoru v grafu „Průběh harmonické v čase“.

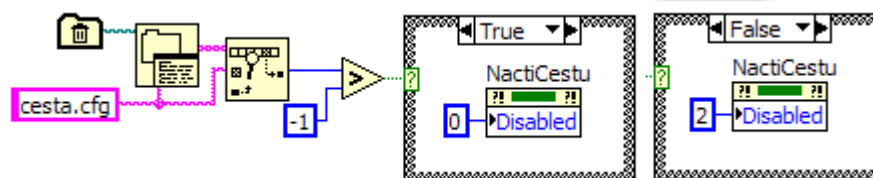
5.3 Popis kódu aplikace zpracovávající naměřená data

Aplikace je založená na principu událostmi řízené struktury. To znamená, že jednotlivé úlohy jsou volány sekvenčně – není požadován jejich paralelní běh. Toto je zobrazeno na následujícím obrázku (Obr. 51). Jednotlivé události jsou popsány v následujících kapitolách.



Obr. 51: Struktura událostmi řízené aplikace

Před spuštěním aplikace proběhne zjištění, zda – li je v pomocném adresáři TEMP operačního systému Windows vytvořen soubor vytvořený měřicí aplikací obsahující cestu k poslednímu uloženému souboru (Obr. 52). Pokud je soubor nalezen je zpřístupněno tlačítko na předním panelu „Načti poslední použitý adresář měřicí aplikace“ (NactiCestu). V opačném případě je toto tlačítko zašednuté a nedá se použít.



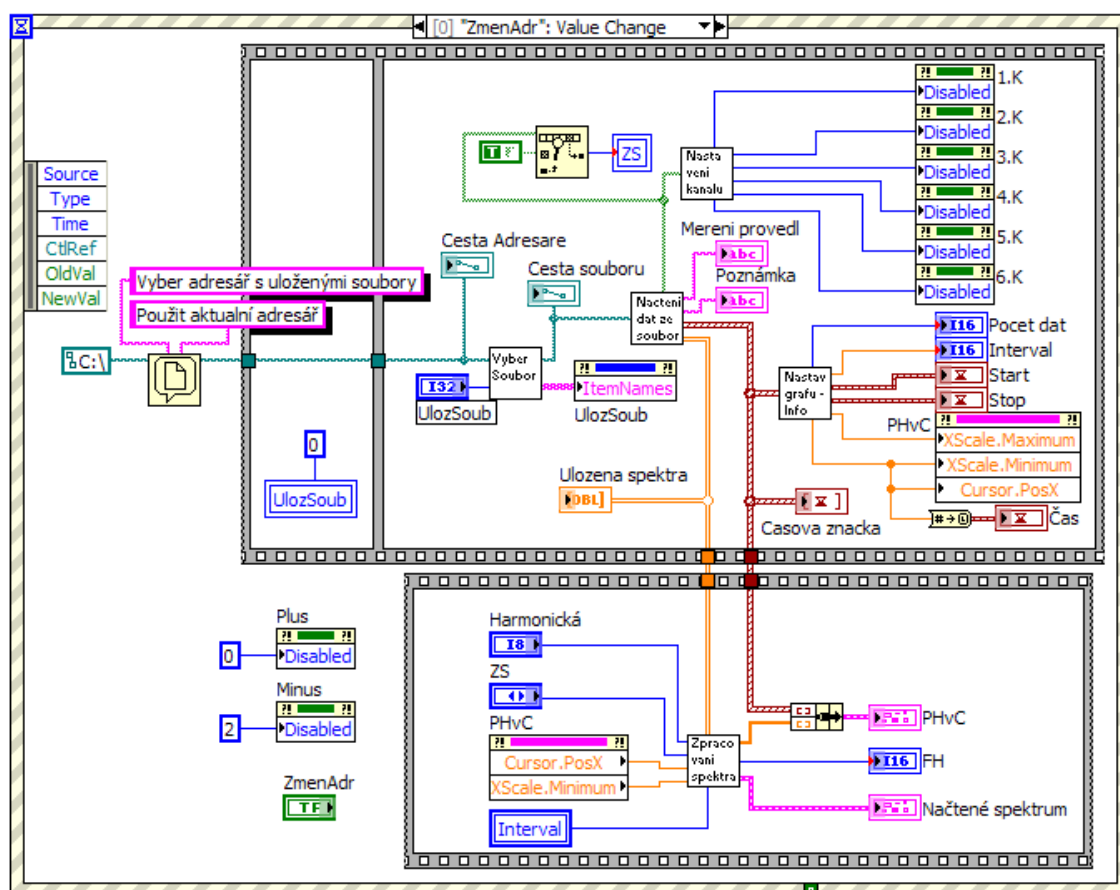
Obr. 52: Kód zjištění, zda – li je vytvořen pomocný souboru s cestou

5.3.1 Událost reagující na stisk tlačítka „Načti adresář“

Tato událost po stisku tlačítka zobrazí dialogové okno pro výběr adresáře s uloženými soubory. Jako výchozí adresář je nastaven kořen disku C: .

Po vybrání adresáře se vytvoří seznam souborů formátu tdms a vytvoří se cesta k souboru umístěného na prvním místě v seznamu. Následuje načtení dat z tohoto souboru. V nabídce „Zobrazený signál“ jsou zpřístupněny kanály, na kterých se měřilo a vybere se první kanál. Proveďte se výpočet počtu dat v souboru, zjistí se agregační interval, čas prvního uložení do souboru, čas posledního uložení do souboru, provede se škálování osy x v grafu „Průběh harmonické v čase“, nastaví se pozice kurzoru na počátek osy x v tomto grafu a zobrazí se ekvivalent času k pozici kurzoru.

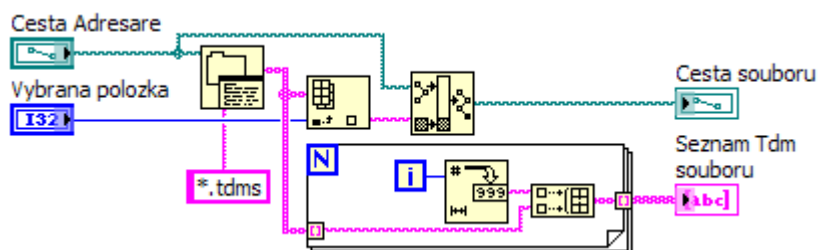
Následuje vykreslení průběhu zvolené harmonické zvoleného signálu do grafu „Průběh harmonické v čase“ a vykreslení agregovaného seskupeného spektra do grafu „Načtené spektrum“ odpovídající času uložení nastavené kurzorem.



Obr. 53: Kód události reagující na stisk tlačítka „Načti adresář“

5.3.1.1 Vytvoření seznamu souboru a cesty k souboru

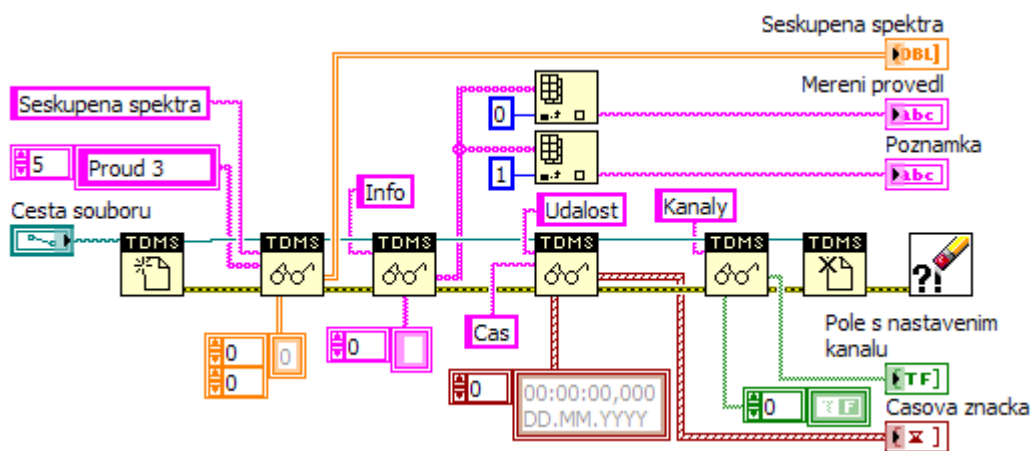
Po určení cesty k adresáři se vyčtou soubory typu tdms, vytvoří se jejich seznam a podle vybrané položky v hlavní aplikaci se vytvoří cesta k souboru.



Obr. 54: Kód vytvoření seznamu souboru a vytvoření cesty

5.3.1.2 Načtení dat ze souboru

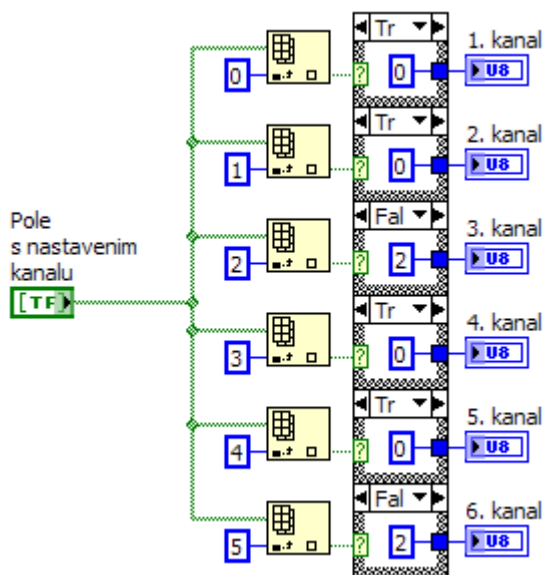
Po vytvoření cesty k souboru se ze souboru načtou uložená data, informace kdo měření provedl a poznámka, časové značky a pole s nastavením, na kterých kanálech se provedlo měření.



Obr. 55: Kód načtení dat ze souboru

5.3.1.3 Nastavení nabídky pro výběr kanálů

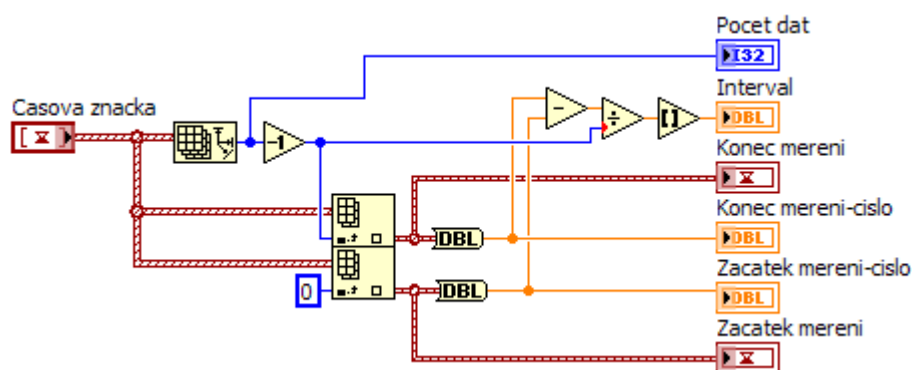
Z pole s nastavením, na kterých kanálech se provádělo měření, se zpřístupní volba kanálů v nabídce „Zobrazený signál“.



Obr. 56: Kód nastavení zpřístupnění kanálů

5.3.1.4 Zjištění informací o měření

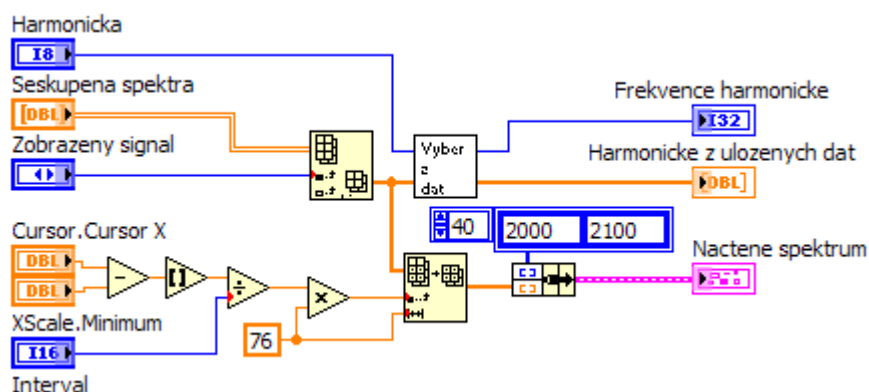
Z časové značky se zjistí počet uložených dat, vypočte se agregační interval a zjistí se začátek a konec měření.



Obr. 57: Kód zjištění informací o měření

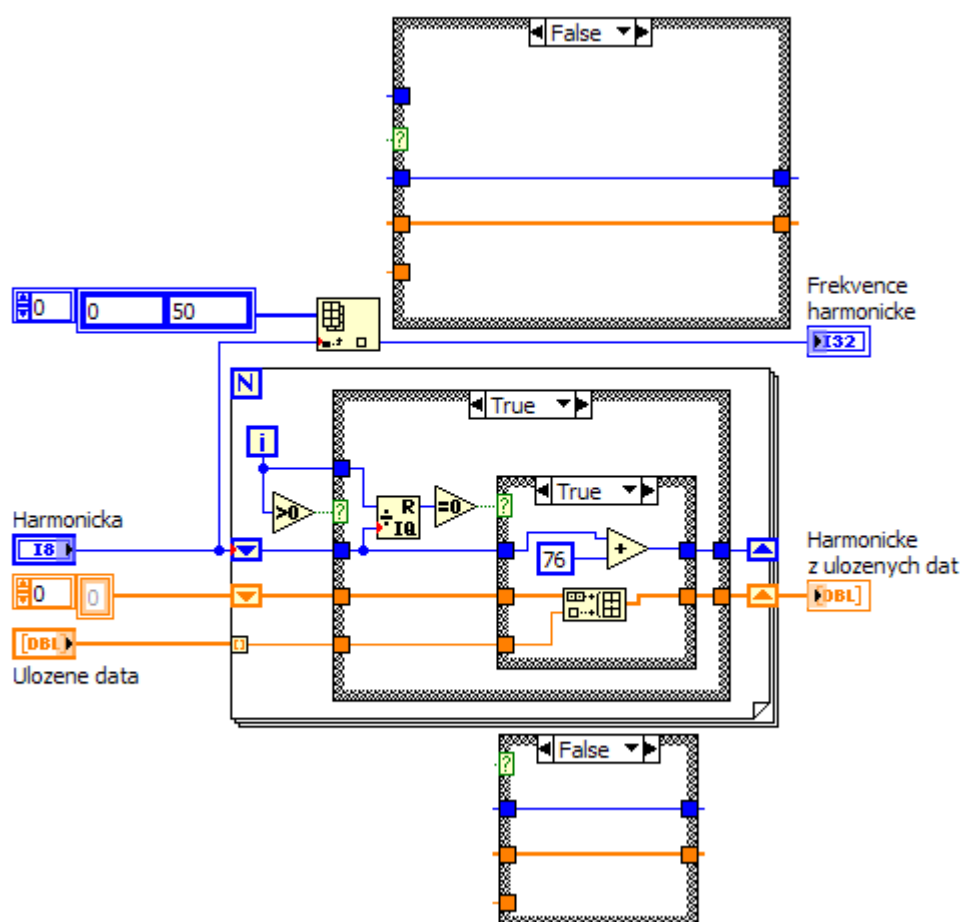
5.3.1.5 Zpracování dat

Nejprve se z načtených dat (Seskupená spektra) vybere zvolený kanál (Zobrazený signal). Poté se z dat naměřených na tomto kanálu vybere zvolená harmonická a z pozice kurzoru se vybere z těchto dat odpovídající spektrum.



Obr. 58: Kód zpracování dat

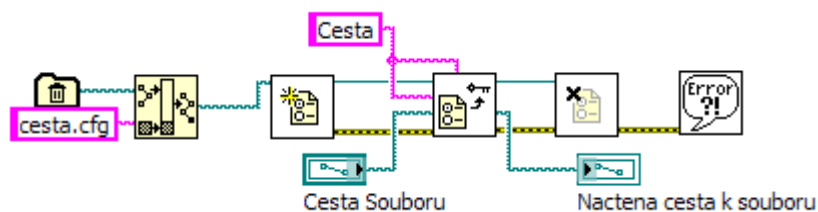
Protože data po načtení ze souboru tvoří pole, stačí pro výběr zvolené harmonické z těchto dat, podělit indexy prvků v poli zvolenou harmonickou a pokud je tento podíl roven 0 je prvek s tímto indexem zvolenou harmonickou. Po nalezení prvku se tento prvek uloží do výstupního pole (Harmonické z uložených dat), které se v hlavní aplikaci dále zpracovává. K hodnotě harmonické se přičte 76 (což je celkový počet uložených harmonických v jednom seskupeném spektru) a toto se opakuje dokud se nedosáhne konce pole. Dále se z přednastaveného pole vybere ekvivalent zvolené harmonické v hercích



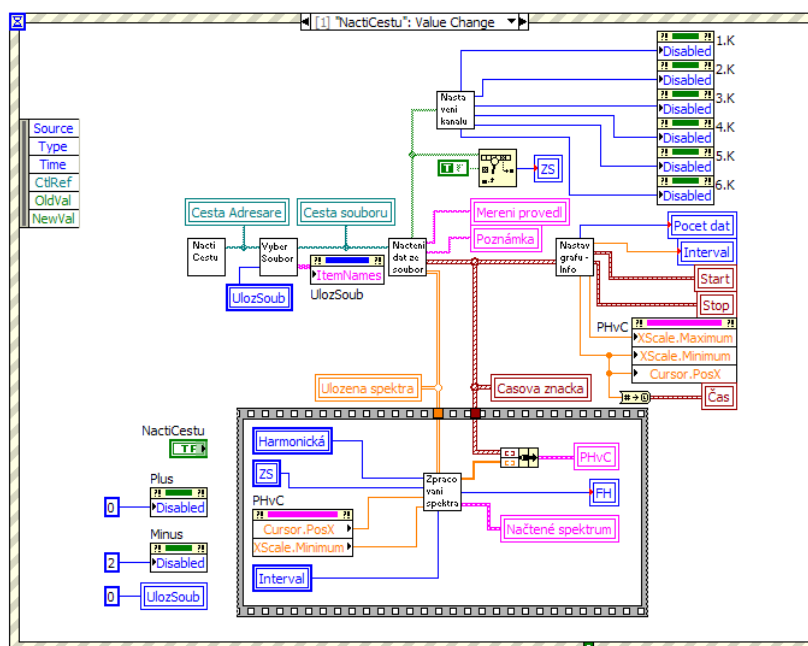
Obr. 59: Kód výběru harmonických

5.3.2 Událost reagující na stisk tlačítka „Načti poslední použitý adresář měřicí aplikace“

Tato událost se o té předchozí popsané v kapitole 5.3.1 liší pouze tím, že cesta adresáře se nevolí pomocí dialogového okna, ale načte se ze souboru (Obr. 60).



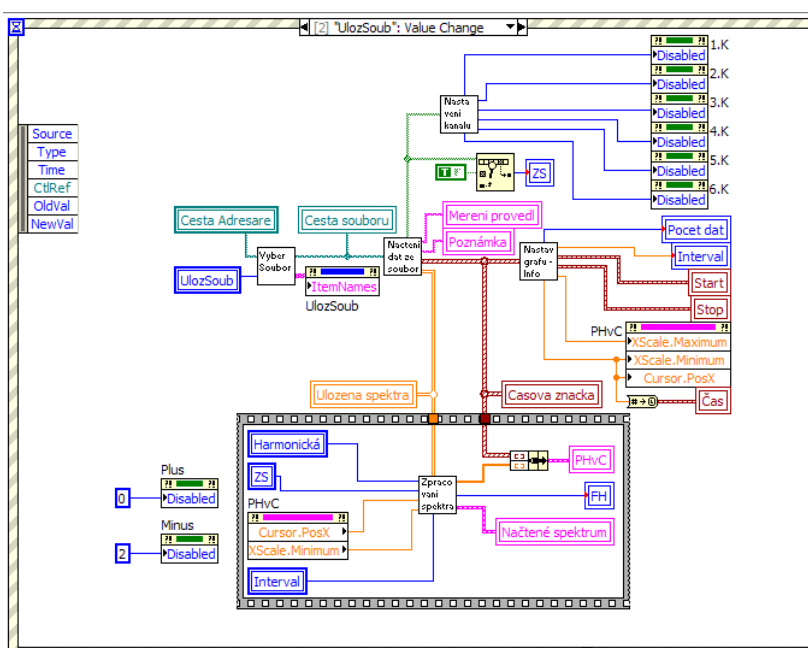
Obr. 60: Kód načtení cesty adresáře ze souboru



Obr. 61: Kód události reagující na stisk tlačítka „Načti poslední použitý adresář měřicí aplikace“

5.3.3 Událost reagující na změnu položky v seznamu „Uložené soubory“

Tato událost reaguje na změnu položky v nabídce „Uložené soubory“. Liší se od předchozích událostí jen tím, že cesta adresáře se načte z proměnné a v seznamu načtených souborů „Uložené soubory“ se neoznačuje 1. položka.



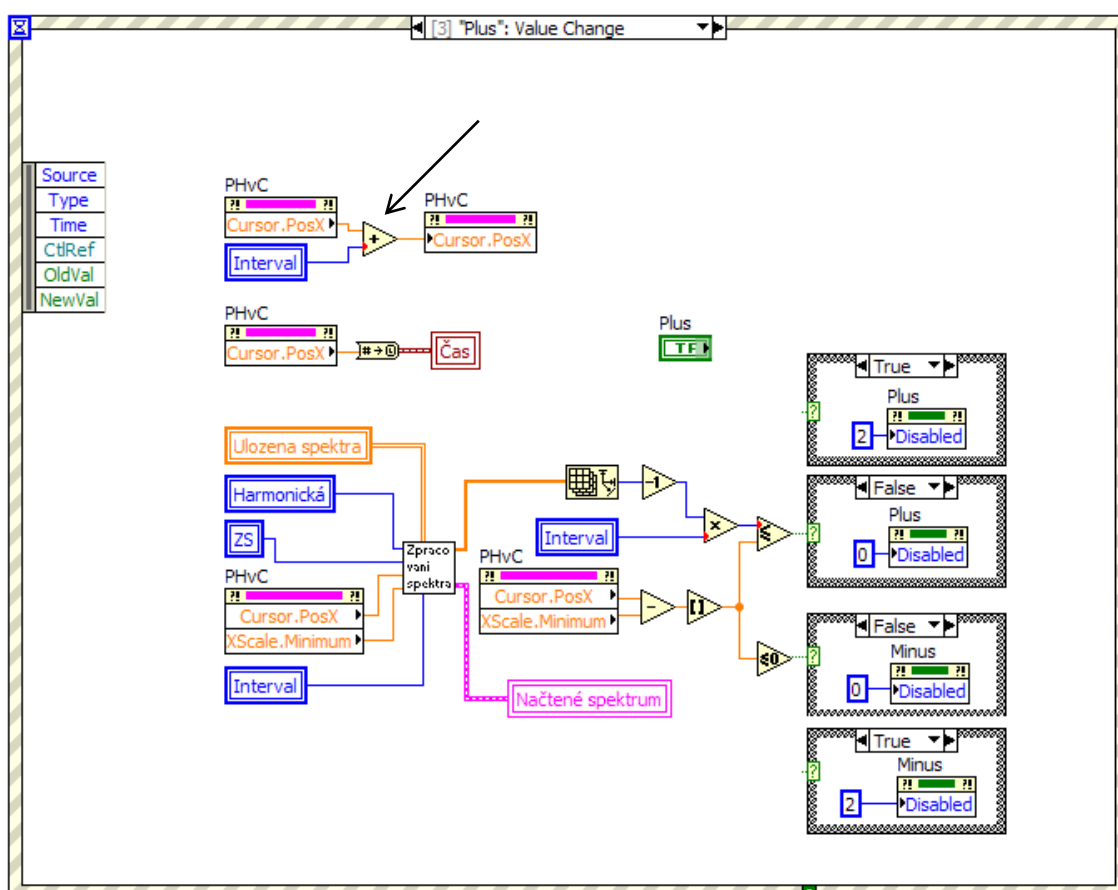
Obr. 62: Kód události reagující na změnu položky v seznamu „Uložené soubory“

5.3.4 Události reagující na změnu pozice kurzoru v grafu „Průběh harmonické v čase“

Na následujícím obrázku (Obr. 63) je zobrazena událost reagující na pohyb kurzoru v grafu „Průběh harmonické v čase“ doprava. Od události, která reaguje na pohyb kurzoru doleva, se liší pouze, že v místě, kam ukazuje šipka, je místo součtu rozdíl.

Po stisku tlačítka pro pohyb kurzoru se k pozici kurzoru přičte/odečte hodnota agregačního intervalu. Poté se zapíše do indikátoru „Čas“ čas odpovídající nové pozici kurzoru a do grafu „Načtené spektrum“ se vykreslí spektrum odpovídající této pozici kurzoru.

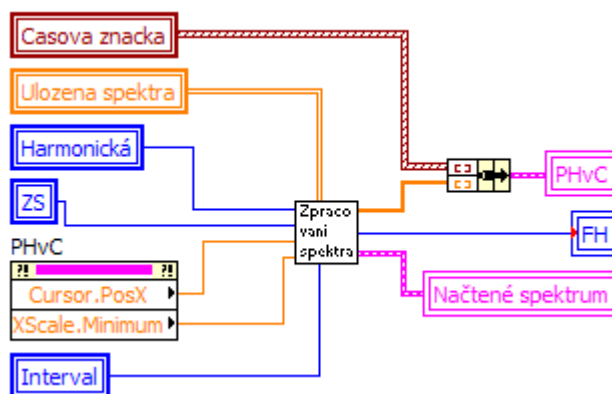
Dále se zjišťuje, zda – li pozice kurzoru není na místě prvního nebo posledního uloženého záznamu. Pokud je kurzor na pozici času prvního uložení dat do souboru je tlačítko pohybující kurzorem doleva zašednuto nebo pokud je na pozici času posledního uložení dat do souboru je zašednuto tlačítko pohybující kurzorem doprava. Pokud je ale kurzor mimo tyto krajní hodnoty jsou obě tlačítka zpřístupněna.



Obr. 63: Kód události reagující na změnu pozice kurzoru v grafu „Průběh harmonické v čase“ směrem doprava

5.3.5 Události reagující na změnu položky v nabídce „Zvolený signál“ a změnu hodnoty harmonické

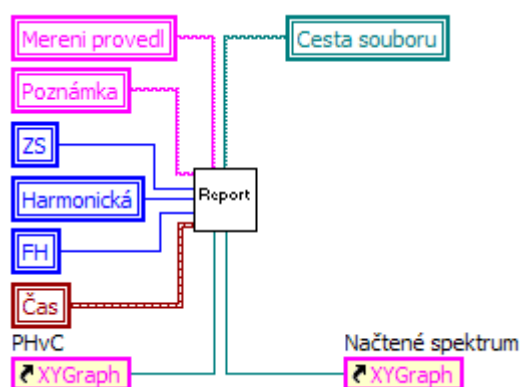
Kód, který se vykoná při vzniku těchto dvou událostech je totožný je zobrazen na následujícím obrázku (Obr. 64). Jedná se pouze o překreslení obou grafů na základě změny těchto dvou události.



Obr. 64: Kód vykonávající se při změně harmonické a změně položky v nabídce „Zvoleny signál“

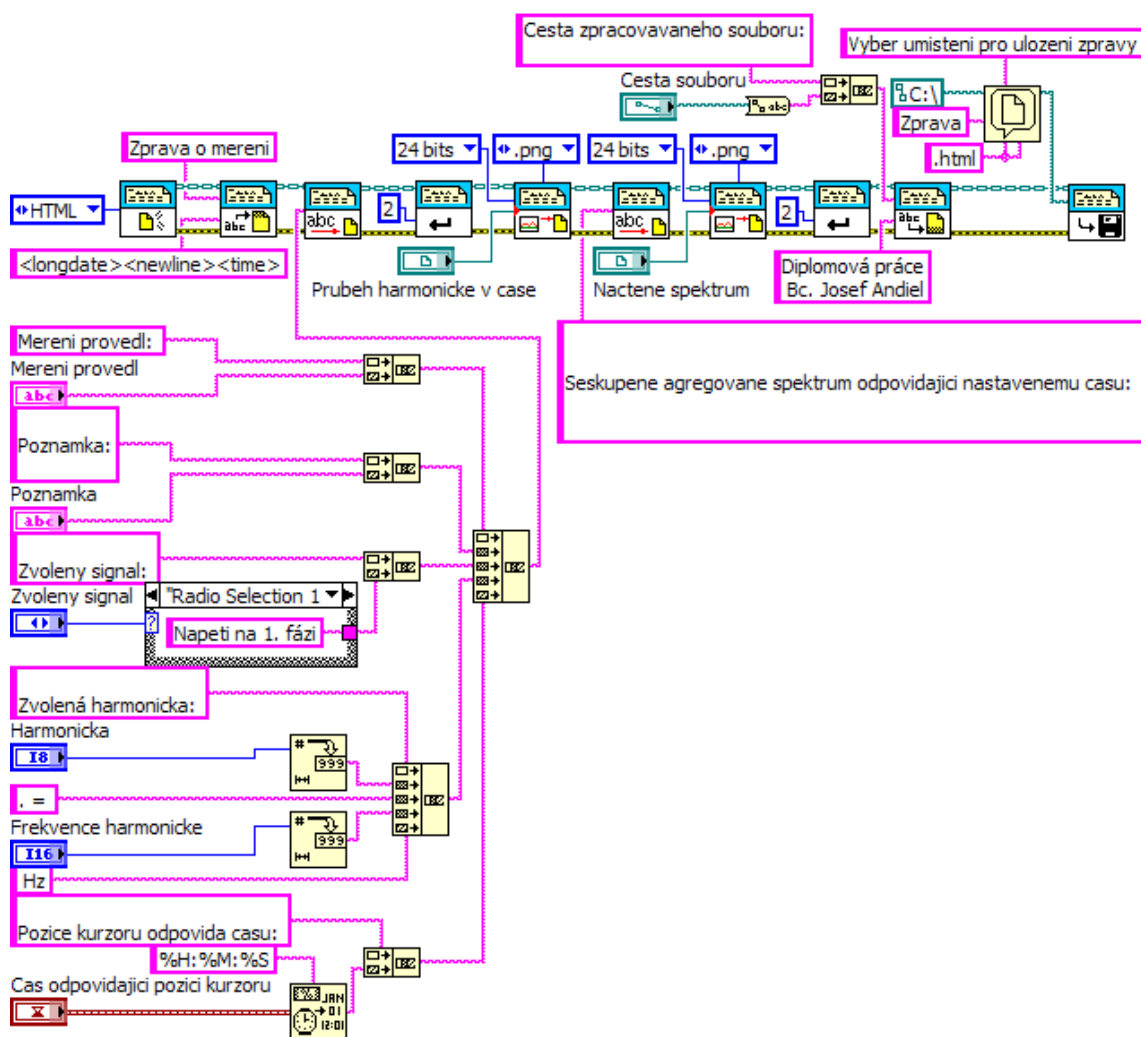
5.3.6 Událost reagující na stisk tlačítka „Vytvořit zprávu“

Po stisku tlačítka „Vytvořit zprávu“ se provede níže uvedený kód (Obr. 65). Jedná se jen o zavolání subVI, do kterého se načtou všechny údaje, které jsou zobrazeny ve zprávě. Ukázková zpráva je zobrazena v Příloha 1 (grafy jsou zmenšeny z důvodu jejich značné velikosti).



Obr. 65: Kód vykonávající se při stisku tlačítka „Vytvořit zprávu“

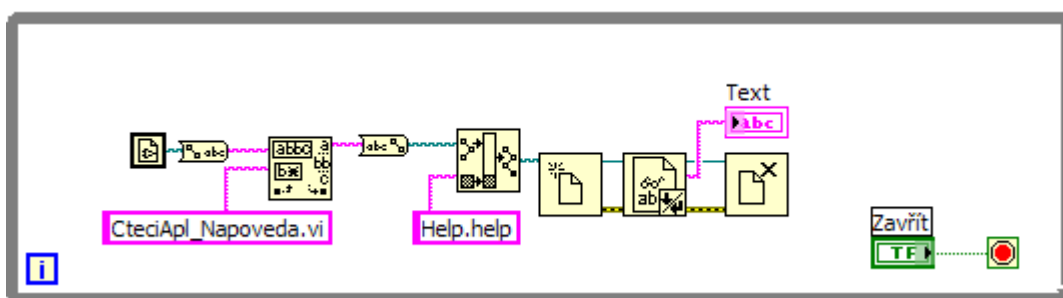
Zpráva má podobu html stránky, která má v levé části záhlaví pojmenování a v pravé datum a čas vytvoření této zprávy. Následují informace kdo měření provedl, poznámku k měření, který signál je zpracováván, zvolenou harmonickou a čas odpovídající pozici kurzoru. Dále následuje graf zobrazující průběh zvolené harmonické v čase a graf zobrazující spektrum signálu v nastaveném čase. V zápatí zprávy je v levé části zobrazena cesta zpracovaného souboru a v pravé části je zobrazen copyright.



Obr. 66: Kód vytvoření zprávy

5.3.7 Události reagující na stisk tlačítka „Nápověda“, „O aplikaci“, „Ukončit aplikaci“

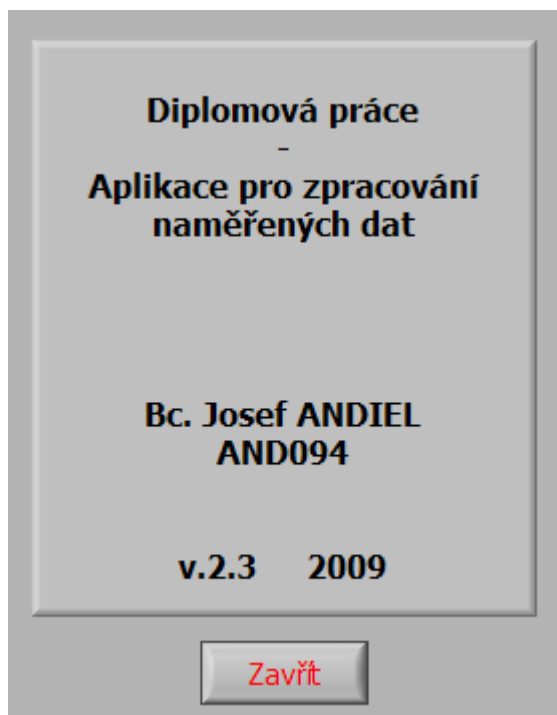
Po stisku tlačítka „Nápověda“ se zobrazí okno s nápovědou. Text nápovědy je uložen v souboru Help.help, který je umístěn ve stejném adresáři jako subVI „Nápověda“. Zjistí se cesta tohoto subVI. V této cestě se nahradí jméno souboru subVI jménem souboru s textem nápovědy a tento text se zobrazí v indikátoru.



Obr. 67: Kód načtení nápovědy ze souboru

Po stisku tlačítka „O aplikaci“ se zobrazí okno s informacemi o aplikaci (Obr. 68).

Po stisku tlačítka „Ukončit aplikaci“ se aplikace ukončí.

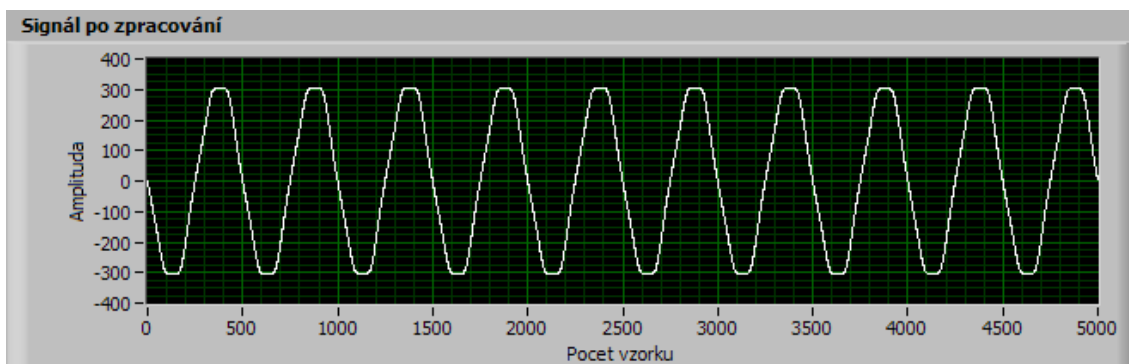


Obr. 68: Okno s informacemi o aplikaci

6. Ověření funkčnosti virtuálního analyzátoru harmonických

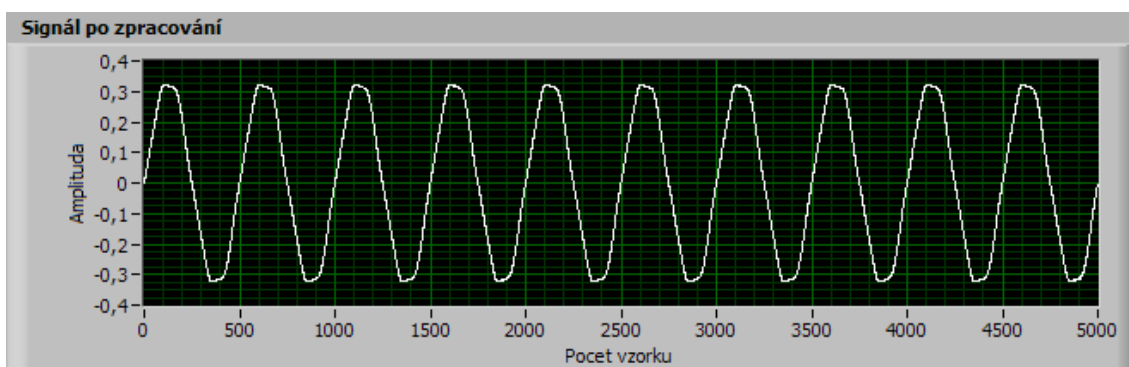
Celková funkčnost vytvořeného virtuálního analyzátoru harmonických zpracovávající signály naměřené hardwarovou platformou NI CompactDAQ byla odzkoušena ve školní laboratoři a to analyzováním průběhů napětí a proudů různých spotřebičů připojených k napájecí síti.

Byly testovány průběhy napětí a proudu po připojení běžné lampy s obyčejnou 60W žárovkou, běžného kancelářského osobního počítače s LCD monitorem a notebooku. Napětí u všech testovaných spotřebičů bylo téměř totožné proto ho uvádím jen jednou (Obr. 69).



Obr. 69: Graf napětí po připojení spotřebičů

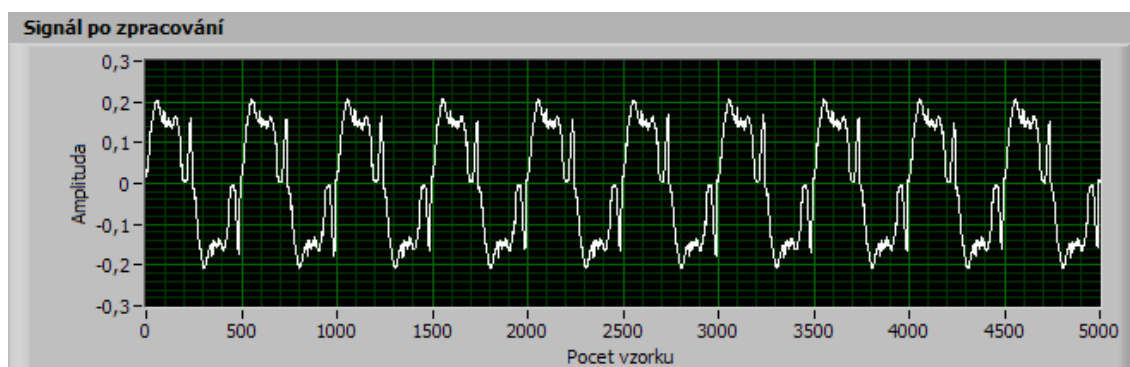
Oproti napětí, které bylo u všech spotřebičů téměř shodné, byl průběh proudu značně rozdílný. Na Obr. 70 je zobrazen průběh proudu běžné lampy s obyčejnou 60W žárovkou. Z grafu je patrné, že průběh proudu není téměř zkreslen a průběh se blíží průběhu sinusovému.



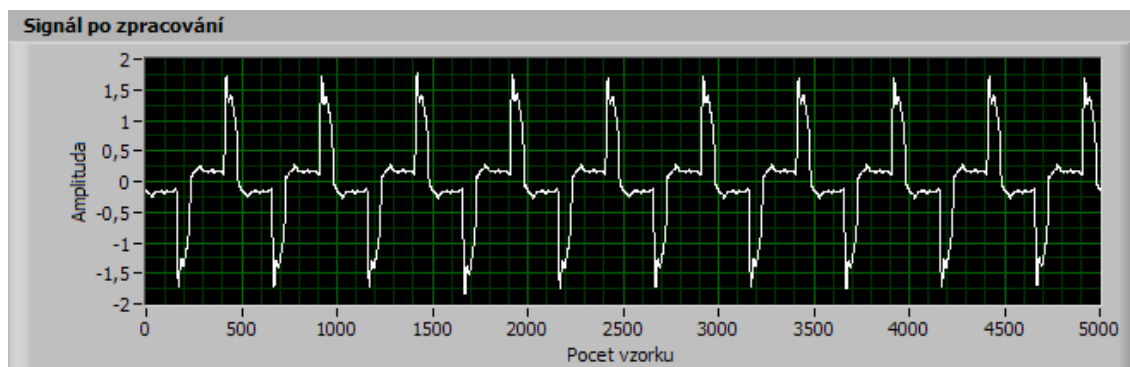
Obr. 70: Graf průběhu proudu běžné lampy s obyčejnou 60W žárovkou

Na následujících grafech je zobrazen průběh proudu po připojení běžného kancelářského počítače s LCD monitorem. Na prvním grafu (Obr. 71) je zobrazen průběh proudu, když je počítač v Standby módu (počítač je vypnutý). I při vypnutém počítači je na průběhu proudu patrný vliv spínaného zdroje použitého pro napájení počítače (průběh proudu je značně zkreslen).

Na druhém grafu (Obr. 72) je zobrazen průběh proudu spuštěného počítače. Na tomto grafu už se plně projevuje vliv použitého spínaného zdroje. Průběh proudu má impulzní charakter.



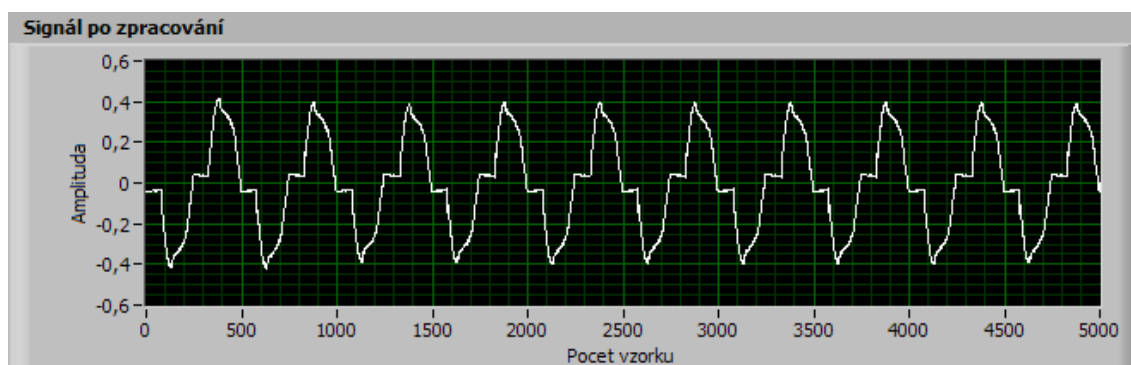
Obr. 71: Graf průběhu proudu běžného kancelářského PC s LCD monitorem v Standby Mód (PC a monitor jsou vypnuty)



Obr. 72: Graf průběhu proudu spuštěného kancelářského PC s LCD monitorem

Na posledním grafu (Obr. 73) je uveden průběh proudu po zapojení notebooku. Na grafu je opět patrný vliv spínaného zdroje, ale zkreslení průběhu proudu je méně výrazné. Tento rozdíl v průbězích proudů u osobního počítače a notebooku může být způsoben tím, že zdroj osobního počítače neobsahuje funkci pro korekci účinníku (PFC - Power factor correction).

PFC se snaží docílit toho, aby zdroj odebíral proud blížící se co nejvíce průběhu sinusovému ve fázi s napětím. Běžný zdroj (bez PFC) odebírá proudové špičky, přidáním PFC do takového zdroje se tyto špičky sníží a zároveň se prodlouží doba odběru proudu (aby byl odebrán stejný výkon). Z pohledu komponent v PC žádný rozdíl není, ale z hlediska elektrické sítě je rozdíl znatelný. Dochází k menší deformaci sinusového napětí sítě a s tím souvisí, že takový zdroj způsobuje menší rušení rozvodné sítě. [13]



Obr. 73: Graf průchodu proudu notebooku

7. Závěr

Vytvořená diplomová práce shrnuje problematiku měření harmonických napětí a proudů v napájecí síti. Je v ní uveden podrobný popis virtuální instrumentace, grafického vývojového prostředí LabVIEW, hardwarové platformy CompactDAQ a Fourierovy transformace, která se používá pro převod naměřeného signálu z časové do frekvenční oblasti.

Hlavním přínosem této diplomové práce je navržená aplikace pro měření a analyzování napětí a proudů v napájecí síti naprogramovaná v grafickém vývojovém prostředí LabVIEW. Navržený virtuální analyzátor harmonických zpracovává signál měřený pomocí hardwarové platformy CompactDAQ. Navržené algoritmy a funkčnost aplikace byly ověřeny měřením a splňují předpoklady správné funkce.

Vytvořený virtuální analyzátor naměřené signály zpracuje, vytvoří jejich spektra a výsledky ukládá do souborů. Pro následné zpracování těchto dat je vytvořená aplikace, která umožňuje prohlížení těchto dat a také umožňuje vytvoření zprávy obsahující aktuálně zobrazená data.

Vytvořené aplikace by mohly v budoucnu sloužit především jako studijní a demonstrační materiál určený k seznámení a popisu dané problematiky. Další možností využití by mohlo být použití těchto aplikací pro komerční účely. Předcházelo by tomu dlouhodobé testování, nová ověřování správnosti funkce aplikace a zkvalitnění ovládání aplikací.

Hardwarová platforma CompactDAQ, obstarávající měření signálů, v kombinaci s grafickým vývojovým prostředím LabVIEW, obstarávající zpracování naměřených dat, umožňuje vytvářet komplexní měřicí aplikace. Použití bylo intuitivní a jak při návrhu virtuálního analyzátoru, tak i při návrhu aplikace zpracovávající naměřená data jsem nenarazil na žádný velký problém.

Použití této kombinace hardwaru a softwaru bych doporučil jak začátečníkům, kteří s programováním teprve začínají, tak i pokročilým programátorům pro velký rozsah úloh, který se dají s těmito nástroji vyřešit.

Použitá literatura

- [1] Žídek, J.: *Grafické programování ve vývojovém prostředí LabVIEW*, výuková skripta, 2002
- [2] KMIT, P.: *Měření a řízení po sběrnici USB* [online]. 2006 [cit. 2008-12-25]
<http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=31312>.
- [3] Ad.: *Nové v/v moduly pro systém NI CompactDAQ* [online]. 2007 [cit. 2008-12-25]
<<http://www.automatizace.cz/article.php?a=1738>>.
- [4] < <http://zone.ni.com> >
- [5] JANDORA, R.: *Elektrický proud v látkách* [online]. 2000 [cit. 2008-12-23]
< <http://radek.jandora.sweb.cz/f14.htm#proud> >.
- [6] *Elektrické napětí* [online]. [cit. 2008-12-25]
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrické_napětí>.
- [7] Chapman, D.: *Kvalita elektrické energie – průvodce*. Brussels: European Copper Institute. 2001 – [cit. 2009-04-15] <http://www.medportal.cz/files/file/lpq_cz/1_1.pdf>.
- [8] ČSN EN 61000-4-7 ed.2
- [9] Vlk, M. Houfek, L. Hlavoň, P.: *Experimentální mechanika*. [cit. 2008-12-22]
<<http://www.fme.vutbr.cz/kam/opory/pdf/umt/exp.mech.pdf>>.
- [10] Tůma, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*, Praha Sdělovací technika 1997, ISBN 80-901936-1-7
- [11] Sedláček, M.: *Využití Matlabu pro potlačení prosakování energie ve spektru při DFT spektrální analýze interpolací v časové oblasti* - [cit. 2008-12-22].
<http://dsp.vscht.cz/konference_matlab/matlab02/sedlacek.pdf>.
- [12] ČSN EN 61000-4-30
- [13] Eagle.: *Specifikace zdrojů ATX12V-Tolerance napětí, PFC* [online]. 2004 [cit. 200-04-28]
<http://www.svethardware.cz/art_doc-B1EC249457260C28C1256E840045EA74.html>.

Seznam příloh

Příloha 1: Ukázková zpráva o měření

Příloha 1: Ukázková zpráva o měření

Zpráva o mereni

28. dubna 2009

14:11:25

Mereni provedl: Uzivatel

Poznamka:

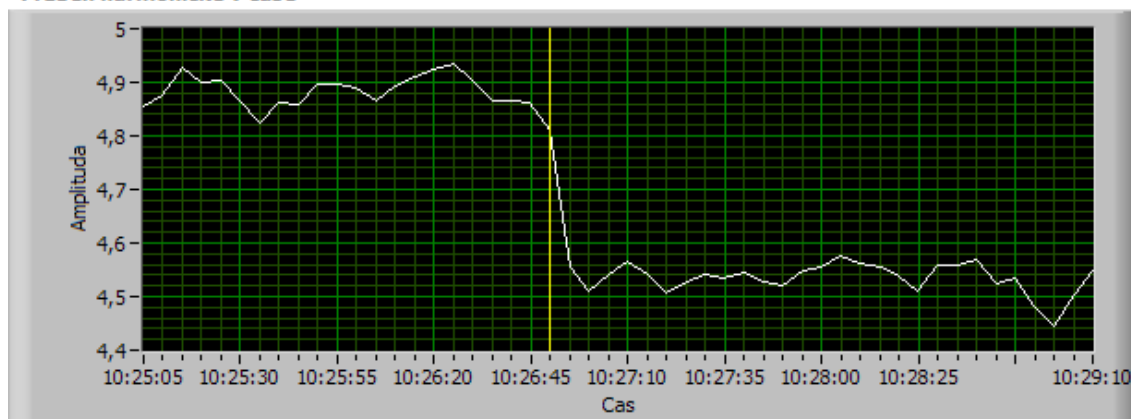
Notebook

Zvoleny signal: Napeti na 1. fázi

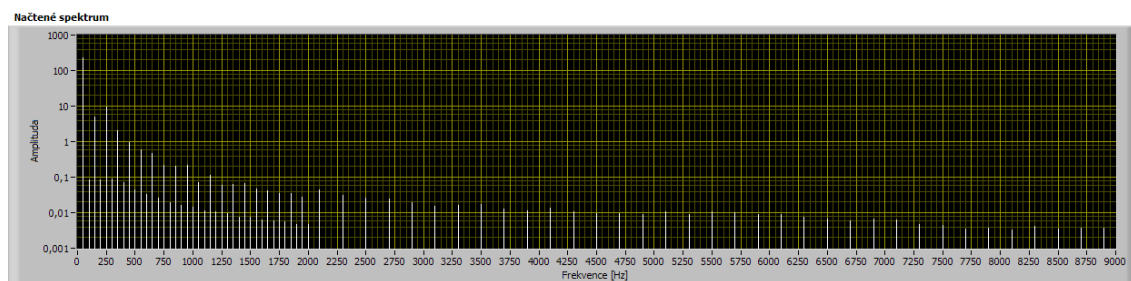
Zvolená harmonicka: 3. = 150 Hz

Pozice kurzoru odpovida casu: 10:26:50

Průběh harmonické v čase



Seskupene agregovane spektrum odpovidajici nastavenemu casu:



Cesta zpracovavaneho souboru:
C:\090428,102500,1.4.k,5s,50zaz.tdms

Diplomová práce
Bc. Josef Andiel